



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ENERGETICKÝ ÚSTAV

ENERGY INSTITUTE

NÁVRH SYSTÉMU TEPLOVZDUŠNÉHO VYTÁPĚNÍ

DESIGN OF AIR HEATING SYSTEM

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bogdan Nagorskyi

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Petr Kracík, Ph.D.

BRNO 2017

Zadání bakalářské práce

Ústav: Energetický ústav
Student: **Bogdan Nagorskyi**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Energetika, procesy a životní prostředí
Vedoucí práce: **Ing. Petr Kracík, Ph.D.**
Akademický rok: 2016/17

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Návrh systému teplovzdušného vytápění

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Hlavním cílem bakalářské práce je popsat a navrhnout základní parametry teplovzdušného systému vytápění, které by nahradilo standardní teplovodní systém v jednom bytě panelového domu. Nový systém by měl být napojen na stávající rozvody vytápění a měl by nahradit (doplnit) radiátor při co nejmenších stavebních zásazích do objektu.

Cíle bakalářské práce:

- Technický popis standardního teplovodního systému vytápění v bytové jednotce či RD.
- Technický rozbor systému teplovzdušného vytápění.
- Návrh teplovzdušného systému pro vytápění v bytové jednotce.
- Ekonomická a tepelná bilance navrženého systému s důrazem na plnění hygienických podmínek.

Seznam doporučené literatury:

JANOTKOVÁ, E. Technika prostředí. 1. vyd. Brno: VUT, 1991, 201 s. ISBN 80-214-0258-X.

SZÉKYOVÁ, M., K. FERSTL a R. NOVÝ. Větrání a klimatizace. 1. české vyd. Bratislava: Jaga, 2006, 359 s. ISBN 80-8076-037-3.

CHYSKÝ, J. a L. OPPL. Větrání a klimatizace. 2. vyd. Praha: SNTL, 1973, 576 s.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2016/17.

V Brně, dne 10. 10. 2016



doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Bakalářská práce se věnuje možnosti výměny stávajících teplovodních radiátorů za teplovzdušné jednotky s řízeným příívodem vzduchu. V úvodu práce je proveden rozbor základních faktorů, přispívajících k tepelné pohodě a uvedeno jejich uplatnění v tradičních systémech vytápění. Dále byla uvedena problematika podmíněné účinnosti vytápění původních systémů vytápění a současného uplatnění větrání, jejíž rozbor stal důvodem k vhodnosti návrhu nového systému teplovzdušného vytápění s řízeným příívodem vzduchu.

Návrh systému teplovzdušného vytápění byl proveden pro obývací pokoj typické panelové bytové jednotky. Při návrhu nového zařízení byl kladen důraz především na eliminaci hlavní nevýhody systému teplovzdušného vytápění a to výškového rozdělení teplotních vrstev. Systém je navržen v souladu s hygienickými normami a jeho součástí jsou i další prvky úpravy vzduchu. V ekonomickém zhodnocení projektu byly provedeny kalkulace možného provedení teplovzdušného systému a porovnání s obdobnými výrobky běžně dostupnými na trhu.

Klíčová slova

Teplovzdušné vytápění, výměník tepla, sálání, konvekce, tepelné ztráty, rekuperace

ABSTRACT

This bachelor thesis describes potential possibilities to substitute hot-water radiators with hot-air units with controlled air supply. Introduction part of the thesis describes basic thermal comfort factors. Subsequently, their application in traditional heating systems was performed. After that the issue of conditional heating efficiency of the original heating systems with the simultaneous application of ventilation was discussed, the analysis of which was the reason for the suitability of designing a new system of warm air heating with controlled air supply.

The design of the hot-air heating system was performed for the living room of a typical panel apartment unit. During designing a new installation, the emphasis was put primarily on eliminating the main drawbacks of the hot-air heating system, namely the height distribution of the temperature layers. The system was designed in accordance with hygiene standards and its components include other air treatment elements. In the economic evaluation of the project, calculations of the possible implementation of the hot-air system and comparison with similar products commonly available on the market were made.

Keywords

Hot-air heating, heat exchanger, radiation, convection, heat loss, recuperation

Bibliografická citace

NAGORSKYI, B. *Návrh systému teplovzdušného vytápění*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2017. 58 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Petr Kracík, Ph.D.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma Návrh systému teplovzdušného vytápění vypracoval samostatně a s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu literatury.

V Brně, dne

Podpis.....

Poděkování

Děkuji panu Ing. Petru Kracíkovi, Ph.D. za odborné vedení, konzultace, věnovaný čas a užitečné rady, které jsem využil při napsání této bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat své rodině, která mě podporovala po celou dobu mého studia.

OBSAH

ÚVOD	15
1 ZÁKLADNÍ FAKTORY TEPELNÉ POHODY PROSTŘEDÍ	16
1.1 Sálavá složka tepla.....	16
1.2 Konvekční složka tepla.....	18
1.3 Vnitřní výsledná pociťovaná teplota.....	19
2 SYSTÉMY VYTÁPĚNÍ.....	20
2.1 Tepelné ztráty.....	20
2.2 Teplovodní vytápění	20
2.2.1 Vlastnosti teplovodního vytápění	21
2.3 Teplovzdušné vytápění.....	23
2.3.1 Vlastnosti teplovzdušného vytápění.....	24
2.4 Porovnání systémů vytápění	25
3 VĚTRÁNÍ SYSTÉMU TEPOVZDUŠNÉHO VYTÁPĚNÍ.....	27
3.1 Stanovení hygienických podmínek	27
3.2 Princip větrání a konstrukce větracího systému	28
3.2.1 Vytápění místnosti s cirkulačním provozem větrání	28
3.2.2 Vytápění místnosti s kombinovaným provozem větrání	29
3.3 Cirkulace vzduchu v bytové nebo kancelářské jednotce	29
3.4 Součástky vzduchotechnického potrubí	31
4 NÁVRH SYSTÉMU TEPOVZDUŠNÉHO VYTÁPĚNÍ.....	34
4.1 Tepelné ztráty místnosti a zdroje tepla	36
4.1.1 Součinitel prostupu tepla stavebních konstrukcí	36
4.1.2 Tepelné ztráty obývacího pokoje	37
4.2 Zdroje tepla	38
4.3 Výměník tepla.....	39
4.3.1 Provozní parametry.....	39
4.3.2 Návrh výměníku voda-vzduch.....	40
4.4 Regulace systému teplovzdušného vytápění	40
4.5 Konstrukce teplovzdušného zařízení	41
4.6 Instalace zařízení a stavební úpravy	44
5 MOŽNOSTI REKUPERACE	44
5.1 Přehled lokálních pokojových rekuperačních výměníků	44

5.2	Využití pokojových rekuperátorů při teplovzdušném vytápění	47
6	Ekonomické zhodnocení projektu.....	48
	Závěr.....	50

Úvod

Postupem času neustále rostou nároky na pohodu obytného prostředí a zároveň snaha o úspory energie. V moderních budovách se používají nejnovější technologie a nejkvalitnější materiály, které umožňují stavby začlenit do kategorie nízkoenergetických, dokonce i pasivních domů. Vnitřní prostředí lze mnoha způsoby upravovat ještě ve stadiu projektování, a tak zajistit tepelnou pohodu i za splnění všech podmínek hygienických, stejně jako dalších podmínek komfortního bydlení nebo pracovní činnosti.

Starší budovy se také revitalizují a ve výsledku mají kvalitnější obvodovou konstrukci s nižším součinitelem prostupu tepla. Kvalitnější okna a dveře neumožňují ani minimální výměnu vzduchu, což se kladně projeví na tepelné izolaci budovy i jako protihlukové opatření, ale je nepříznivé z hlediska potřebné výměny vzduchu. Problém výměny vzduchu se řeší častějším otevíráním oken. To však vyžaduje fyzickou přítomnost člověka, zvětšuje tepelné ztráty celé obvodové konstrukce a navíc je podstatně ovlivněno tlakovými rozdíly mezi vnitřním a vnějším prostředím. V mezioddobí dokonce může nastat situace, kdy k výměně vzduchu téměř nedojde.

Systémy vytápění a větrání starších budov, které prošly rekonstrukcí, se většinou nezměnily, proto mají být přizpůsobeny novým technickým a hygienickým požadavkům. Ve skutečnosti je prostor pro změny velice omezený.

Podle údajů ČSÚ pro rok 2011 [1] bylo v České Republice 214760 bytových domů a nadto 61688 bytových domů, které jsou postavené jako rodinné. Dohromady tedy přes 276 tisíc, z nichž je téměř 200 tisíc panelových domů. Celkový stav v ČR pro rok 2011 byl 4 104 635 bytů. Většina je vybavená zastaralými vytápěcími systémy, proto je problém zastaralých vytápěcích systémů neodpovídajících moderní době aktuální, především pro bytové, obývací a kancelářské domy.

Tato bakalářská práce se zabývá možnostmi přizpůsobení již stávajících systémů vytápění a větrání starších budov novým požadavkům a nárokům za použití především teplovzdušného zařízení s řízeným přívodem vzduchu.

1 Základní faktory tepelné pohody prostředí

Tepelný stav vnitřního prostředí je jedním z nejdůležitějších faktorů zdravého a příjemného pobytu či pracovní činnosti člověka. Subjektivnímu pocitu, vyjadřujícímu kladné vnímání tepelného stavu prostředí, odpovídá pojem *Tepelná pohoda* (TP). Nejčastěji se pro objasnění pojmu TP používají následující definice:

- „Tepelná pohoda znamená, že je dosaženo takových tepelných poměrů, kdy člověku není ani chladno, ani příliš teplo – člověk se cítí příjemně.“[2]
- „Tepelnou pohodou (někdy též tepelnou neutralitou) se označuje stav, kdy prostředí odnímá člověku tepelnou produkci bez výrazného (mokrého) pocení.“ [3]

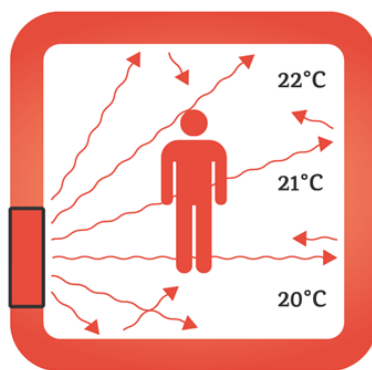
V současné době se používá definici podle českých/evropských (ČSN EN ISO) a amerických (ASHRAE) norem:

- „Tepelná pohoda je stav mysli, jenž vyjadřuje spokojenost s teplotním klimatem a který vychází ze subjektivního hodnocení“ [4]

Tepelná pohoda obytného prostředí je dána čtyřmi základními faktory a to teplotou vzduchu, povrchovou teplotou vnitřních stěn, relativní vlhkosti vzduchu a rychlosti proudění vzduchu. Dalším důležitým faktorem jsou osoby, které mají obývat prostor, přičemž jejich vnímání pohody je zcela individuální.

Pokud rychlost proudění vzduchu v místnosti bude menší, než 0,2 m/s a relativní vlhkost vzduchu se bude pohybovat mezi 25 a 70 %, můžeme za faktory tepelné pohody uvažovat pouze dva: teplotu vzduchu a povrchovou teplotu okolních ploch.

1.1 Sálavá složka tepla



Obr. 3.2 Princip tepelného záření [5]

Sálání neboli záření, popř. radiace, je fyzikální proces, u kterého látka vyzařuje do prostoru energii ve formě vln o vlnové délce λ [μm] ve formě elektromagnetického záření. Sálání nastává u každého tělesa, jehož teplota je vyšší než absolutní nula - 273,15°C (0K). Jiné označení stejného významu můžeme nazvat též jako tepelné záření [6]. Podstatou sálavé složky je to, že zářením se neohřívá prioritně vzduch,

ale protilehlé zářiči plochy a vyzážené teplo člověk cítí pokožkou ode všech ohřátých ploch v místnosti. Vyzážené teplo se skoro neztrácí na ohřátí vzduchu. Vzduch v místnosti se ohřívá od podlahy, strojů, předmětů i živých organismů a v jejich bezprostřední blízkosti teplota vzduchu je největší.

Sálavá složka je významná především kvůli uplatnění Stefan – Boltzmannova zákona, který udává, že tepelné záření ideálního tepelného zářiče (černého tělesa) je úměrné čtvrté mocnině absolutní teploty povrchu tělesa. [7] Z tohoto důvodu je pro sálání prospěšná vyšší teplota povrchu zářiče.

Vlastní posuzování vlivu radiace (kladné i záporné) na člověka se provádí pomocí střední radiační teploty.

Střední radiační teplota

Střední radiační teplota T_r (°C) je myšlená rovnoměrná společná teplota všech ploch v prostoru, při níž by byl přenos tepla z těla sáláním stejný jako ve skutečnosti (ČSN ISO 7726) [8]. Střední radiační teplota se vypočítá jako:

$$T_r^4 = T_1^4 \cdot F_{p-1} + T_2^4 \cdot F_{p-2} + \dots + T_N^4 \cdot F_{p-N} \quad (1.1)$$

Kde:

T_r – střední radiační teplota [K],

$T_1 \dots T_N$ – povrchová teplota ploch 1 až N [K],

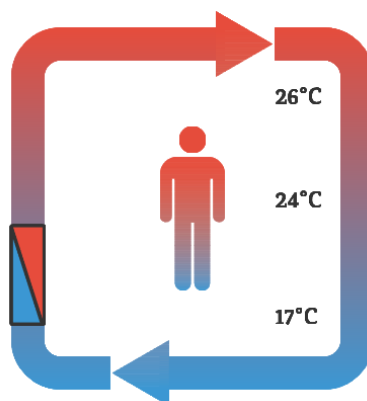
F_{p-N} – úhlový poměr osálání mezi osobou a plochou N

Jsou-li mezi povrchovými teplotami ploch v prostoru jen relativně malé rozdíly, lze rovnici (1.1) zjednodušit do lineárního tvaru:

$$T_r = T_1 \cdot F_{p-1} + T_2 \cdot F_{p-2} + \dots + T_N \cdot F_{p-N} \quad (1.2)$$

Tímto způsobem je střední radiační teplota vypočítána jako střední hodnota okolních teplot vážená velikostmi odpovídajících úhlových poměrů [9] a je jedním ze základních faktorů tepelné pohody prostředí.

1.2 Konvekční složka tepla



Obr. 3.2 Princip tepelné konvekce [5]

Podstatou konvekčního šíření tepla je neustálý pohyb částic vedoucí k proudění hmoty o různé teplotě, přičemž teplejší částice obvykle stoupají vzhůru, protože hustota kapalin a plynů s teplotou zpravidla klesá. Pohyb částic doprovázený vzájemným předáváním kinetické energie trvá tak dlouho, dokud nedojde k vyrovnaní teplot.

Konvekční systémy jsou založeny na ohřevu a cirkulaci vzduchu. Cirkulace může být jak přirozená (např. u nástěnných konvektorů), tak nucená (např. u podlahových konvektorů nebo teplovzdušného vytápění). Chladnější vzduch nasávaný z vytápěné místnosti prochází přes výměník tepla, ohřívá se a proudí zpět do vytápěného prostoru, kde se od něj ohřívají stěny a pevné předměty.

Teplo potom stoupá z otopného tělesa nebo z výdechů přes chladnou plochu směrem ke stropu a šíří se dál do prostoru. Zde se vzduch vlivem tepelných ztrát ochlazuje, klesá k podlaze a dostává se zpátky k otopnému tělesu [10].

Konvekční složka tepla přispívá primárně ke zvýšení teploty vzduchu v místnosti. Stavební plochy se ohřívají sekundárně, prostřednictvím ochlazení vzduchu v jejich blízkosti.

Na rozdíl od střední radiační teploty, nemůžeme, v případě konvekční složky tepla, odvodit průměr. Jelikož ohřátý vzduch stoupá vzhůru a dolů klesá již ochlazený, dochází k výškovému rozvrstvení prostoru místnosti podle jednotlivých teplot vrstev vzduchu (viz obr. 3.2).

Teplota vzduchu ohřátého konvekční složkou je dalším ze základních faktorů tepelné pohody prostředí.

1.3 Vnitřní výsledná pociťovaná teplota

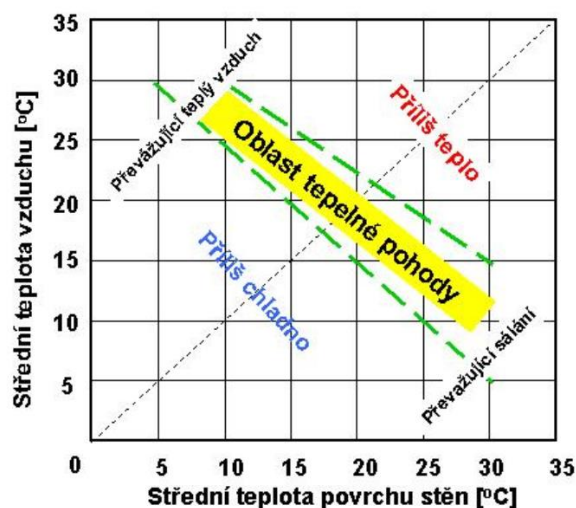
Pocitovou teplotu (t_k), jež cítí osoba v daném prostředí lze vyjádřit jako průměr střední teploty vzduchu (t_v) v daném prostředí a střední teploty všech povrchů (t_p), které vymezují hranice daného prostředí. Matematický zápis je uveden v následující rovnici.

Výsledná pociťovaná teplota [10]

$$t_k = \frac{t_v + t_p}{2} \quad \text{nebo} \quad t_k = 0,5t_v + 0,5t_p \quad (1.3)$$

Výraz pro teplotu t_k udává, že na výslednou teplotu, vnímanou lidmi ve vytápěném prostoru, máji vliv teplota vzduchu t_v i průměrná povrchová teplota t_p stavebních konstrukcí, které ohraničují vytápěný prostor, a je tedy přímo závislá na poměru a způsobu uplatnění jak sálavé, tak i konvekční složek tepla.

Zajištění tepelné pohody by mělo být dosaženo využitím obou dvou tepelných složek ve vhodném poměru.



Obr. 1.1 Diagram tepelné pohody vytápěného prostoru [11]

Jako příklad lze uvést místnost o teplotě vzduchu i stěn 30°C. Po krátkodobém, ale intensivním větrání (teplota povrchu stěn nestihla klesnout), teplota vzduchu se snížila do 10°C. Výsledná pociťovaná teplota, resp. teplota, kterou cítí člověk, tedy činí 20°C

2 Systémy vytápění

2.1 Tepelné ztráty

Všeobecně je známo, že v přírodě soustavy o různé teplotě snaží dojít k rovnovážnému stavu. Podle druhého zákona termodynamiky víme, že *teplo nemůže samovolně přecházet z tělesa o teplotě nižší na těleso o teplotě vyšší* (Clausius) [12], což jasně definuje směr vývoje tepelně nerovnovážné soustavy: těleso nebo prostředí o vyšší teplotě bude předávat teplo tělesu nebo prostředí o teplotě nižší až do vyrovnání teplot (rovnovážného stavu). Ten důležitý termodynamický zákon se nám každodenně projevuje i v domácnosti. V době kdy teplota venkovního prostředí klesá pod úroveň teploty, zaručující tepelnou pohodu v obývaných místnostech, dochází k přenosu tepla od teplejší budovy ke chladnějšímu venkovnímu prostředí tj., dochází k tepelným ztrátám.

Tepelnou ztrátu budovy můžeme definovat jako množství energie, kterou musíme do vytápěného prostoru dodat, abychom udrželi teplotu v interiéru na požadované úrovni [13].

Celková tepelná ztráta [9]

Celková tepelná ztráta místnosti (budovy) se počítá jako součet tepelné ztráty prostupem stěnami Q_p a tepelné ztráty větráním Q_v , tj.

$$Q_c = Q_p + Q_v \text{ (W) [14]} \quad (2.1)$$

Právě tepelné ztráty jsou důvodem k instalaci systému vytápění, hlavním úkolem, kterých je dodání tepla do místnosti rovného tepelným ztrátám pro zajištění tepelné pohody.

Existuje přes několik desítek druhů vytápěcích systémů, které se od sebe liší především druhem paliva, provedením, umístěním topidel a zdrojů tepla. Základní rozdělení topných systému se provádí však podle teploty nosné látky: vodní (teplovodní, horkovodní), parní (nizkotlaké, vysokotlaké) a teplovzdušné [15]. Ve skutečnosti, nejrozšířenějšími typy vytápění v domácnosti jsou vytápění teplovodní a teplovzdušné, které dodávají energii použitím dvou hlavních složek sdílení tepla.

2.2 Teplovodní vytápění

Základním typem teplovodního vytápění je vytápění pomocí otopných těles. V bytových domech se nejčastěji používá vytápění otopnými tělesy (radiátory, žebříky), které jsou napojené na bytový/domovní kotel nebo rozvod z teplárny. Dalšími typy teplovodního vytápění v bytových prostorách jsou topení podlahové, stěnové, stropní a samozřejmě také jejich kombinace. Tyto moderní systémy nabízejí řadu výhod, ale ve starších budovách přestavba na nový typ zařízení je často složitá

nebo dokonce není možná, stejně jako využití moderních zdrojů tepla jako solární kolektory a tepelná čerpadla.

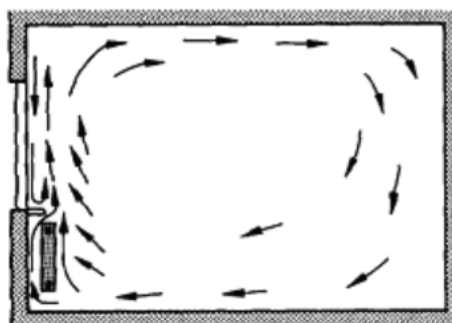
Pracovním médiem při teplovodním vytápění je teplá voda, ohřátá na teplotu do 110°C (při teplotě nad 110°C jde o vytápění horkovodní). V praxi maximální teplota pro domácnost bývá do 95°C.

Důležitou teplotní charakteristikou je teplotní spád. Původně se nejčastěji při vytápění radiátory se používal teplotní spád 90/70°C. To znamená, že do otopného tělesa přívodným potrubím vstupuje voda o teplotě 90°C a po předání tepla vystupuje o teplotě 70°C. Dnes, kvůli lepším izolačním vlastnostem budov se ve mnoha případech používá teplotní spád 70/50°C a v případě objektů s velmi nízkým součinitelem prostupu tepla i 55/45°C. Nižší teplota přívodní vody při, stejném teplotním spadu, přispívá ke komfortnějšímu průběhu vytápění a také ke snižování tepelných ztrát v potrubí. Zapotřebí je však větší teplosměnná plocha radiátorů, kvůli horšímu tepelnému toku v důsledku menšího rozdílu teplot mezi radiátorem a ohřívanou místností. Další nevýhodou nižší teploty přívodné vody je vyšší tlaková zátěž oběhového čerpadla kvůli vyšší hustotě vody za nižších teplot.

Nejčastěji se otopná tělesa umísťují pod okna, nebo na nejvíce ochlazované stěně v místnosti. Otopná tělesa předávají teplo do místnosti dvěma způsoby: sálavou a konvekční složkami tepla o různých poměrech. Pokud nebudeme uvažovat o podlahovém vytápění, které dopravuje teplo i vedením (pocit teplých nohou), primárními složkami tepla u teplovodního vytápění jsou konvekce a sálání (radiace). U teplovodních radiátorů je poměr sálavého tepla ke konvekčnímu 30–40%:60–70% ve prospěch konvekce nebo radiace [16] (poměr konvekce a radiace u radiátorů záleží především na jejich tvaru).

2.2.1 Vlastnosti teplovodního vytápění

Teplovodní radiátory, které jsou běžně používané v domácnosti, se nejčastěji umísťují pod okna vnějších stěn – nejochlazovanějších části místnosti. Prvním důvodem umístění pod okna je ohřev stoupajícími proudy studeného venkovního vzduchu, pronikajícího v době větrání (dřív i skrz netěsnosti oken a dveří). Tím se ohřívá přívodní vzduch do pokoje a potlačuje negativní sálání obvodových stěn.



Obr. 2.1 Vytápění místnosti radiátory [17]

Druhým důvodem umístění pod okna je ergonomičtější využití místnosti. Vedle oken se velký nábytek jako skříně nebo stěny většinou nedává, a tím se osvobozuje místo pro instalaci tepelného zařízení.

Výhodou teplovodních radiátorů je uplatnění sálavé a konvekční složky v jednom jednoduchém zařízení. Zařízení je většinou relativně levné a snadně regulovatelné. Zlepšení charakteristik teplovodních radiátoru nevyžaduje dalších složitých stavebních úprav.

Nevýhodou radiátorů, jak starších tak i moderních, je podmíněně účinné využití obou složek tepla. Právě umístění pod okny často není výhodné s hlediska moderního bydlení. Moderní zateplené budovy mají nižší tepelné ztráty prostupem, téměř nulovou infiltraci vzduchu okny. Chladné sálání obvodových stěn již nemá tak velký význam, proto teplý stoupající vzduch, ohřátý mezi články nebo desky radiátoru, a tepelné záření zbytečně ohřívají vnitřní povrch stěn a oken (viz obr. 2.1). Ze vztahu, uvádějícím měrný tepelný tok skrz rovinou stěnu (jedno i více vrstvou) je patrné, že množství tepla, procházející skrz stěnu je přímo úměrné rozdílu teplot mezi vnějším a vnitřním povrchy. Jedná se tedy o zvýšení tepelných ztrát do okolí.

Tepelný tok rovinou stěnou (Fourierův zákon) [18]

$$\dot{q} = \lambda \cdot \frac{\Delta T}{\delta} \quad [\text{W/m}^2] \quad (2.2)$$

Kde:

\dot{q} – měrný tepelný tok [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$]

λ – součinitel tepelné vodivosti

ΔT – rozdíl teplot mezi vnější a vnitřní povrchy

δ – délkový rozměr (tloušťka jednotné vrstvy stěny)

Velký vliv na účinné uplatnění sálavé složky má skutečnost, že pro dosažení účinného vytápění zářící těleso musí být ze všech stran otevřeno protilehlým stavebním plochám. To je občas velkým omezením a překážkou v každodenním životě. Pokud se před zářiči bude nacházet nábytek, domácí technika nebo i závěsy, sálavá složka se nebude kvalitně uplatňovat nebo se nebude uplatňovat skoro vůbec. Kvůli tomu lidí jsou velice omezení v rekonstrukcích místnosti a volbě rozmístění nábytku, domácích spotřebičů. V kancelářských místnostech je obzvlášť velké množství stolů, desek, přepážek, tj. umělých ploch, ohřátí sáláním, kterých nepřispívá dosažení tepelné pohody.

2.3 Teplovzdušné vytápění

Existuje dva hlavní způsoby přívodu tepla ohřátým vzduchem do místnosti:

- *Teplovzdušné větrání* – do místnosti či celého objektu se přivádí minimální množství čerstvého vzduchu dané doporučenou intenzitou výměny vzduchu I (m³/hod) a o stejné teplotě jako je teplota vnitřní t_i , čímž se pokryjí tepelné ztráty větráním. Tepelné ztráty prostupem hradí jiný systém, nejčastěji otopná soustava s otopnými tělesy nebo podlahová otopná soustava. Nevýhodou teplovzdušného větrání je to, že jsou zapotřebí další otopná tělesa, což komplikuje celkový klimatický systém budovy [19].
- *Teplovzdušné vytápění* – do místnosti či celého objektu se přivádí minimálně množství čerstvého vzduchu dané doporučenou intenzitou výměny vzduchu I (m³/hod). Teplota přiváděného vzduchu t_p je o tolik vyšší, aby bylo zajištěno celkové pokrytí tepelných ztrát, proto teplovzdušné vytápění je nezávislé na dalších otopných soustavách a je schopné samostatně zajistit tepelnou pohodu v místnosti a hygienicky stanovenou výměnu vzduchu [19].

Nejčastěji se používá systém teplovzdušného vytápění, jelikož, jak již bylo uvedeno, je samo dostačující a nevyžaduje další zdroje tepla.

V závislosti na podmínkách se používá teplovzdušné vytápění ústřední nebo místními teplovzdušnými jednotkami. Při ústředním teplovzdušném vytápění se teponosná látka nebo palivo přivádí do strojovny. V strojovně se vzduch ohřívá a do vytápěného prostoru se přivádí obvykle směs venkovního vzduchu a oběhového vzduchu odebíraného z vytápěného prostoru. Vzduch se ze strojovny do vytápěných prostorů rozvádí vzduchovody [20]. Pro starší obytné budovy ústřední typ teplovzdušného vytápění je těžce realizovatelný, jelikož jsou za potřeby vzduchové rozvody a strojovna, kde se bude nacházet veškeré zařízení. Tyto budovy jsou velice prostorově omezené, proto lepší volbou jsou lokální teplovzdušné jednotky. Při vytápění místními teplovzdušnými jednotkami odpadá potrubí pro rozvod vzduchu a k místním jednotkám se rozvádí pouze teponosná látka (voda nebo pára) [21]. Podle rozmístění, lokální teplovzdušné jednotky se dělí na nástěnné, podokenní a podstropní. Nejpoužívanějším typem jsou nástěnné jednotky.

Teoretický teplotní spád v teplovzdušných jednotkách je vyšší, než u teplovodních. Důvodem jsou jiné odlišné fyzické vlastnosti vody a vzduchu: hodnoty měrného tepla pro vodu a vzduch jsou $C_{H_2O} = 4186 \text{ [J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}]$, $C_{vzd.} = 1010 \text{ [J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}]$; hustoty vody a vzduchu jsou $\rho_{H_2O} = 980 \text{ [kg} \cdot \text{m}^{-3}]$, $\rho_{vzd.} = 1,28 \text{ [kg} \cdot \text{m}^{-3}]$. Porovnáním těchto hodnot je patrné, že vzduch, oproti vodě, je horším nosičem tepla, proto teoretický teplotní spád při použití teplovzdušného vytápění je větší, než při použití teplovodního (20–30°K oproti 10–25°K) [22].

Ve skutečnosti, díky volitelné rozteči lamel, velké teplosměnné ploše teplovzdušných výměníků a větší rychlosti proudění vzduchu, může být zvolen obdobný teplotní spád jako u teplovodních radiátorů. Volba záleží na konkrétním provedení a požadavcích.

U otevřených teplovzdušných systémů poměr sálavého tepla ke konvekčnímu bývá kolem 20–80% ve prospěch konvekce [11], u zavřených systémů sálavá složka je zcela vyloučená, tedy poměr sálavého tepla ke konvekčnímu je 0–100%.

2.3.1 Vlastnosti teplovzdušného vytápění

Současné systémy teplovzdušného vytápění nabízí širokou řadu technických řešení, včetně samotného systému vytápění, větrání, rekuperace vzduchu, filtrace, odhlučení. Je tedy smysluplné uvažovat o instalaci teplovzdušného zařízení včetně systému řízeného větrání, čímž se zjednoduší a zlevní proces celkové úpravy vzduchu.

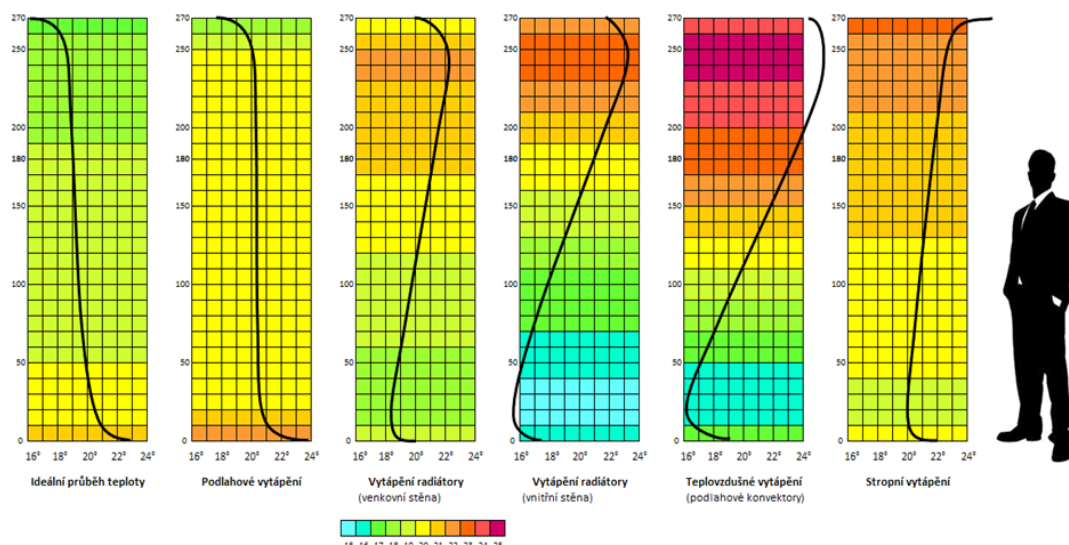
Hlavní výhodou moderních systémů teplovzdušného vytápění je právě možnost objednat několik systémů, důležitých pro zajištění pohody bydlení, do jednoho.

S hlediska vytápění teplým vzduchem, výhodou teplovzdušného zařízení je taky možnost dopravy vzduchu do určitého zvoleného místa a následný výfuk do místnosti. Tím je umožněno nastavovat místo primárního ohřevu neohledě na přepážky a tvar místnosti.

V domácnosti je zvykem dávat nad okna clony a závěsy. Při použití teplovodních radiátorů je to zcela v rozporu s energetickými požadavky, jelikož clona eliminuje přestup tepla zářením do vytápěné místnosti. Při tom se intenzivněji ohřívá prostor mezi oknem, vnější stěnou a clonou. Při použití teplovzdušných zařízení prostor mezi clonou a vnější stěnou nemusí být ohříván. Výsledkem je nižší teplota vnitřního povrchu obvodové stěny a tím i menší tepelné ztráty prostupem. Clona tedy vykonává roli další vrstvy izolace, která eliminuje chladné sálání obvodové stěny, a proto není pouze estetickým prvkem, ale i užitečným.

Stavební plochy jsou ohřívány výhradně teplým vzduchem, který musí být ohřát na vyšší teplotu, než je požadovaná výsledná pocitová.

Nevýhodou teplovzdušného zařízení, pokud se nejedná o nástěnný konvektor, je zcela nevyužitá sálavá složka tepla. Místnost je tedy ohřáta až 100% zastoupením konvekční složky tepla, proto dochází k výškovému rozdílení teplotních vrstev (viz obr. 2.2). U podlahy, v tom případě, se nachází nejstudenější vrstva vzduchu, kvůli čemu obyvatelé nebo pracující mají pocit „studených nohou“. V důsledku, některé lidí přitápějí víc, než je potřeba na pokrytí tepelných ztrát, jelikož mohou být ohroženy nemocemi kvůli nachlazení.



Obr. 2.2 Vertikální Teplotní profil v místnosti při různých tepech vytápění (zleva napravo): ideální průběh teplot; podlahové vytápění; vytápění radiátory (venkovní stěna); vytápění radiátory (vnitřní stěna); teplovzdušné vytápění (podlahové konvektory); stropní vytápění [23]

Tato nevýhoda je společná jak pro teplovzdušná zařízení, tak i pro tradiční teplovodní radiátory, jelikož i u teplovodních radiátorů zastoupení konvekční složky tepla bývá až 80%.

2.4 Porovnání systémů vytápění

Hlavní metodou porovnání způsobů a druhů vytápění je schopnost ohřívat prostor tepelnou složkou, pro kterou bylo zařízení primárně určené. V ideálním případě, místnost by měla být vytápěna hned dvěma tepelnými složkami: jak konvekční, tak i sálavou o poměrech shodných s poměrem tepelných ztrát prostupem a větráním (u zateplených budov přibližně 50:50). Tím se zajistí pohoda prostředí s největší účinností.

Nejjednodušším typem zařízení, přeměňujícím vstupní energii na teplo obou dvou složek je teplovodní radiátor. Jak již, ale, bylo zmíněno, uplatnění jak sálavé, tak i konvekční složek tepla v radiátorech je velice podmíněné na umístění a množství překážek, které zabraňují šíření infračervených vln. Instalace kvalitních systémů stropního nebo podlahového systému sálavého topení je často těžce realizovatelné a investičně náročné v podmínkách bytových domů. Navíc, účinnost podlahového topení je taky závislá na množství nábytku, který se nachází na podlaze.

Účinnost systémů teplovzdušného vytápění, naopak, za reálných podmínek, v dobře izolovaných obývacích nebo kancelářských prostorách je méně podmíněná a většinu negativních vlastností se dá upravovat dalšími opatřeními.

Moderní systémy teplovzdušného vytápění nabízí i účinné provětrávání, velkou modulárnost tepelných jednotek (výměníky, vzduchovody, ventilátory, distribuční

prvky atd.), možnost dopravy teplého vzduchu k různým částem místnosti i mimo ní, možnost zpětného získávání tepla, použití filtračních a protihlukových prvků. Filtrace a protihluková opatření jsou obzvlášť důležité ve velkých městech jako, kde kvůli dopravě je obzvlášť hlučné a prašné prostředí. Díky nižší vlhkosti a menšímu rozdílu teplot mezi vnitřním a vnějším povrchy celních sten a oken, nemusí dojít ke vzniku kondenzátu i plísní.

Shrnutí výhod a nevýhod teplovzdušného vytápění (oproti radiátorům):

Výhody:

- Efektivita vytápění (hlavně u dobře izolovaných objektů)
- Větší pružnost změn výkonových charakteristik
- Menší závislost účinnosti vytápění na množství nábytků, spotřebičů a dalších přídatných ploch v místnosti
- Velká modulárnost a snadná přestavba součástí tepelných jednotek
- Možnost dopravy vzduchu na větší vzdálenosti, k různým částem vytápěné místnosti i mimo ní
- Možnost použití rekuperačních jednotek pro zpětné získávání tepla
- Filtrace a další způsoby úpravy vzduchu
- Zamezení proniknutí uličního hluku
- Možnost designového provedení nebo úplné vzhledové ukrytí

Nevýhody:

- Absence sálavé složky tepla
- Větší rozdíl teplot mezi horní a dolní vrstvami vzduchu
- Náročnější a dražší konstrukce
- Složitější regulace
- Přídatný pohon ventilátoru

Je patrné, že ve mnoha případech použití moderní teplovzdušné techniky je výhodnějším řešením, než tradiční teplovodní radiátory s přirozeným šachtovým větráním místnosti. Navíc, v případě teplovzdušného vytápění se nejedná pouze o způsob ohřátí místností, ale i o účinný způsob větrání a nástroj úpravy vzduchu.

3 Větrání systému teplovzdušného vytápění

Nucené větrání je nedělitelnou součástí moderního systému teplovzdušného vytápění, proto, než dojde k návrhu zařízení, je třeba stanovit příslušné omezující faktory a definovat princip uplatnění větrání místnosti se současným vytápěním.

3.1 Stanovení hygienických podmínek

V první řadě je třeba stanovit faktory vedoucí k zajištění tepelné pohody a hygienických podmínek.

Norma ČSN EN ISO 7730, uvádějící *Mírné tepelné prostředí – Stanovení ukazatelů PMV (předpověď středního tepelného pocitu) a PPD (předpokládané procento nespokojených) a popis podmínek tepelné pohody*, je základní normou pro posuzování tepelné pohody prostředí, ve kterém procento spokojených se stavem prostředí lidí je 90% [24].

Tab. 1 Doporučené operativní teploty pro 90 % spokojenost lidí v daném interiéru (ČSN EN ISO 7730) [25]

Období	Izolace oblečení (clo)	Stupeň aktivity (met)	Optimální operativní teplota (C)	Přípustné rozmezí operativní teploty (C)
Zima	1,0	1,2	22	20 – 24
Léto	0,5	1,2	24,5	23 – 26

Zjednodušeně se dá uvést, že tepelná pohoda je dána následujícími faktory: vnitřní výsledná pociťovaná teplota (vztah 1.3) = 22 °C, maximální rychlost proudění vzduchu = 0,2 m/s.

Hygienické podmínky pobytu a pracovní činností se nejčastěji vztahují k relativní vlhkosti vzduchu a koncentraci CO₂. Vlhkost vzduchu je udávána na úrovni 30% až 70%. Hraniční hodnota koncentrace CO₂ je 1000ppm (parts per million), které se říká Pettenkoferovo kritérium. Přepočet této hodnoty je následující: 1000ppm = 1800 mg/m³ = 0,1 %. Při překročení koncentrace v 1000ppm se může objevit pocit ospalosti a vydýchaného vzduchu, nad 2000ppm se objevuje zrychlený tep a koncentrace přesahující 45000ppm vedou ke ztrátě vědomí a smrti [26]. Instalace čidla koncentrace CO₂ v každé místnosti bytové jednotky je drahou záležitostí, proto se místnosti většinou provětrávají na základě vlastních pocitu obyvatelů nebo pracujících.

Aby provětrávání bylo řízeno pravidly, zjednodušeně se uvádí, že pro splnění hygienických podmínek, podle ČSN 73 0540–2:2002, stačí provětrávat celkový vzduchový objem místnosti jednou za dvě hodiny [27], což je plně dostačující jak pro regulaci vlhkosti, tak i zmenšení koncentrace oxidu uhličitého.

Je patrné, že splnění hygienických podmínek a nepřekročení hranice koncentrace CO_2 je důležité nade vše, proto návrh systému vytápění se provede s ohledem na tyto podmínky a omezení.

3.2 Princip větrání a konstrukce větracího systému

Nejčastěji používaným způsobem uplatnění konvekční složky při vytápění jak teplovzdušným, tak i radiátory je nasávání studeného vzduchu ze spodní části místnosti, následné ohřátí ve výměníku a stoupání ohřátého vzduchu pod strop. Dále následuje ochlazení a vzduch klesá k podlaze, pak se znova ohřívá ve výměníku nebo mezi články radiátoru. Jedná se o nejjednodušší a nejlevnější způsob, který ale z důvodu uskupení vrstev vzduchu o různé teplotě není vhodný.

Hlavní myšlenkou zajištění účinného uplatnění konvekční složky při návrhu nového systému teplovzdušného vytápění je využití „obraceného“ směru konvekce tj. poháněné ventilátorem proudění teplého vzduchu přes výměník směrem z vrchu dolu a následný výfuk k podlaze. Teplý vzduch, díky menší objemové hmotnosti, začne přirozeně proudit směrem k nejvyššímu bodu místnosti, čímž rovnoměrně ohřeje prostor po celé výšce. Následně se teplý vzduch nasaje pod stropem a znova projde přes výměník. Jedná se o vyrovnaní křivky teplotního profilu směrem k ideálnímu průběhu teploty (obr. 2.2). Výsledkem je účinné promíchávání vzduchu a nižší rozdíl teplot mezi nejnižším a nejvyšším body v místnosti. Ohřátí stropu a tím i zajištění jeho sálání je stejně účinné, jako při použití přirozeného směru proudění vzduchu přes výměník. Moderní ventilátory pracují účinně při spotřebě elektrické energie srovnatelnou s úspornou žárovkou, proto předpokládané náklady na provoz ventilátoru nemusejí být dramatické.

Při požití teplovzdušného vytápění jsou uvažované dva základní režimy provozu. Cirkulační a kombinovaný.

3.2.1 Vytápění místnosti s cirkulačním provozem větrání

Cirkulační provoz znamená nasátí vzduchu pod stropem místnosti a ohřátí na teplotu požadovanou k zajištění tepelné pohody. Tím, že se nenasává čerstvý chladný vzduch, odpadá ztráta větráním, a proto stejná doba zahřátí místnosti bude dosažena při menším výkonu výměníku a tím za menších nákladů.

Cirkulační režim se předpokládá pro krátkodobé zahřátí vzduchu a stavebních ploch v místnosti. Dále se cirkulační režim může být uplatněn v případech, že se v místnosti nenacházejí lidé, nebo vzduch je již dostatečně čerstvý a lidský metabolismus, například v době spaní, nevyžaduje velké množství kyslíku. Ideálně je však použit cirkulační režim za určitou dobu před příchodem lidí do vytápěné místnosti.

3.2.2 Vytápění místnosti s kombinovaným provozem větrání

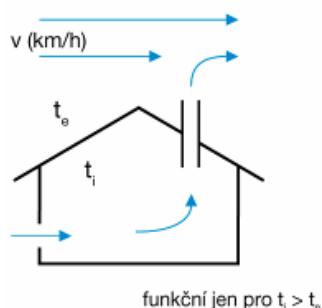
Po zapnutí systému vytápění se nejprve předpokládá provoz v cirkulačním režimu. Poté, když se vzduch v místnosti ohřeje, systém otevře vstupní klapku venkovního nasátí a režim se změní na kombinovaný.

Kombinovaný režim znamená smíchání čerstvého chladného vzduchu, potřebného v souladu s hygienickými podmínkami, s teplým pokojovým vzduchem. Čerstvý vzduch se kvůli míchání předeheje ještě před vstupem k výměníku. Ve výměníku již předehřátý vzduch se ohřeje na požadovanou teplotu a přes výstupní výustky vstoupí do místnosti.

Nasátí již teplého vzduchu pod stropem místnosti současně se vstupem čerstvého vzduchu umožňuje opětovné využití vzduchu z nejteplejší vrstvy. Tím se zvětšuje účinnost zařízení, promíchávají se tepelné vrstvy vzduchu a výsledkem je zmenšení provozních nákladů.

3.3 Cirkulace vzduchu v bytové nebo kancelářské jednotce

Návrh teplovzdušné jednotky se provádí pro starší bytové domy (obývací a kancelářské), především panelové. Větrací systém proto musí být navržen s ohledem na způsoby větrání v tomto typu staveb. Nejčastějším typem větrání v starší bytové jednotce je přirozené profouknutí vzduchu mezi otevřeným oknem a vzduchovou šachtou v důsledku tlakového rozdílu v místnosti a na opačné straně větrací šachty.



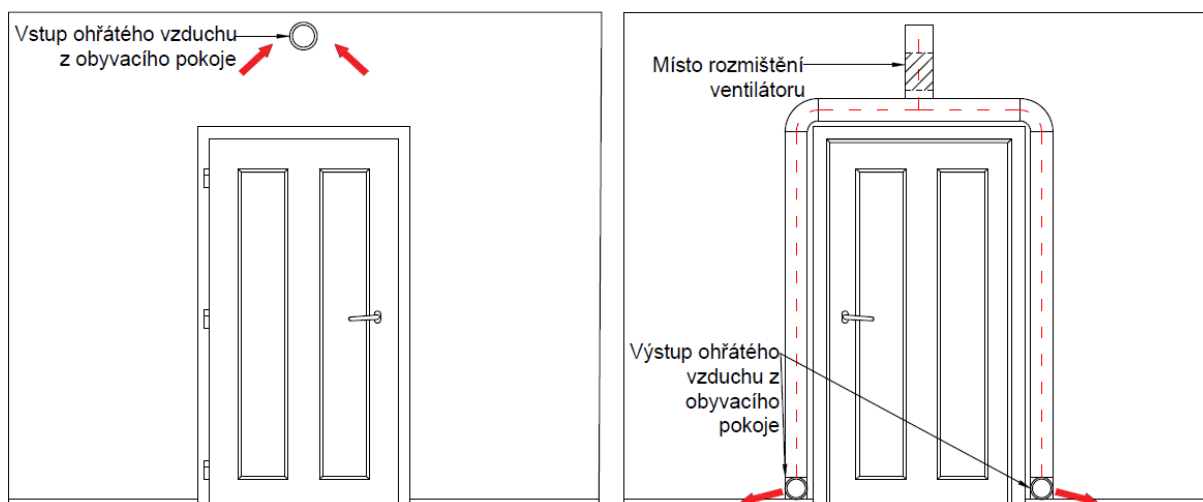
Obr. 3.2 Příklad pasivního větrání budovy [28]

Při zavřených těsných oknech tento způsob již není funkční, jelikož se nezajišťuje dostatečný přetlak v předsíni, koupelně, WC nebo komorách, kde se nachází vstupy vzduchotechnických šachet. Kvůli tomu obyvatelé, hlavně panelových domů, si občas stěžují na zpětné nasátí chladného venkovního vzduchu do již zmíněných místností a zápachy z jiných bytů a chodby. Navíc, uplatnění přirozeného šachtového větrání vyžaduje otevření všech mezipokojových dveří a přepážek, což je nevhodné s hlediska zajištění soukromí.

Aby větrání nebylo závislé na ručním otevření oken a balkonových dveří, nejjednodušším řešením je přívod čerstvého vzduchu skrz otvor v čelní stěně. Objemy teplého pokojového a čerstvého vzduchu se smíchají, ohřejí ve výměníku a následně vstoupí do místnosti. Odvod vzduchu šachtami se uskuteční díky zajištění přetlaku v předsíni, kam se vzduch dostane netěsnostmi a otevřenými dveřmi. Problém ale mohou způsobit kvalitní těsné mezipokojové dveře.

Právě pro případ, kdy mezipokojové dveře jsou často zavřené, je předložen další způsob zajištění větrání napříč celé bytové jednotky: pod stropem místnosti, kde se nachází nejteplejší vrstva vzduchu, se rozmístí vzduchotechnické zařízení vstupu ohřátého vzduchu z obývacího pokoje (například, talířový ventil). Pohaněný potrubím ze strany předsíně vzduch klesne dolu na úroveň podlahy. Výstup vzduchu se provede přes výstupní vzduchotechnické zařízení. Průtok vzduchu přes vnitřní stěnu se musí rovnat průtoku vstupujícího čerstvého vzduchu, tím se zajistí kontinuálnost proudění. Teplý vzduch také ohřeje původně nevytápěné místnosti (předsíň, koupelnu a WC), kvůli čemuž odpadá nutnost instalace přídatných otopných těles (např. otopných žebříků) a sníží se tepelné ztráty z vytápěného pokoje do nevytápěných místností.

Přídavný ventilační systém zajistí rovnoměrný průchod hygienicky potřebného množství vzduchu skrz celou bytovou jednotku, dostatečný tlak na vstupu vzduchotechnické šachty a zvýší účinnost původního systému větrání.



Obr. 3.4 Přídavný ventilační systém. Pohled ze strany pokoje (nalevo), ze strany předsíně (vpravo)

Rozmištění a konstrukce může být pozvolná, jelikož se nejedná ani o složité zařízení, ani o velké investice. Musí být však uplatněn princip „obraceného“ směru proudění teplého vzduchu, pohaněného ventilátorem. Typy součástek mohou být zvoleny podle vkusu obyvatel, popřípadě dekorativně ukryté v lištách, sadrokartonu apod.

3.4 Součástky vzduchotechnického potrubí

Konstrukce systému teplovzdušného vytápění může být jednoduše přizpůsobená konkrétním požadavkům a omezením jako: velikost a tvar místnosti, vhodná místa pro výstup teplého vzduchu, požadované umístění, stavební úpravy a vnější vzhled.

Důležitým požadavkem na systém teplovzdušného vytápění v domácnosti, kromě účinného vytápění, je omezení obtěžování lidského života provozem a, při možnosti, i následná úprava vzduchu. To znamená, že je potřeba kladt vyšší nároky na rychlost proudění, hluk, šíření prachu a mikroorganismu. Ne méně důležitým nárokem je vnější vzhled zařízení. Požadavky na vzduchotechnické zařízení v kancelářských nebo pracovních místnostech jsou mírnější. Obvykle stačí jednoduché a levné řešení.

Součástky přívodu a odvodu vzduchu

Zařízení vstupu čerstvého vzduchu by mělo být dálkově uzavíracím. Možnou volbou je těsný talířový ventil s elektrickým ovládáním. Výrobek je právě doporučen pro rekonstrukci panelových domů. Vstupní zařízení pokojového vzduchu nemusí být zajištěno dálkovou regulací a může být zvolena jednodušší a levnější varianta talířového ventilu. Průtok vzduchu talířových ventilů se nastavuje pomocí otočení disku. Zařízení vstupu čerstvého vzduchu do pokoje může být zvoleno z velkého množství výrobků, představených na trhu: multidýzy, anemostaty atd.



Obr. 3.6 Součástky přívodu a odvodu vzduchu (zleva napravo): Talířový ventil s elektrickým ovládáním VEL 12–4–0–9 [29]; Talířový ventil odvodní KO 125 [30]; Multidýza 200x100 MZL-KV [31]; Kruhový anemostat KA 160 [32]

Vzduchotechnické potrubí

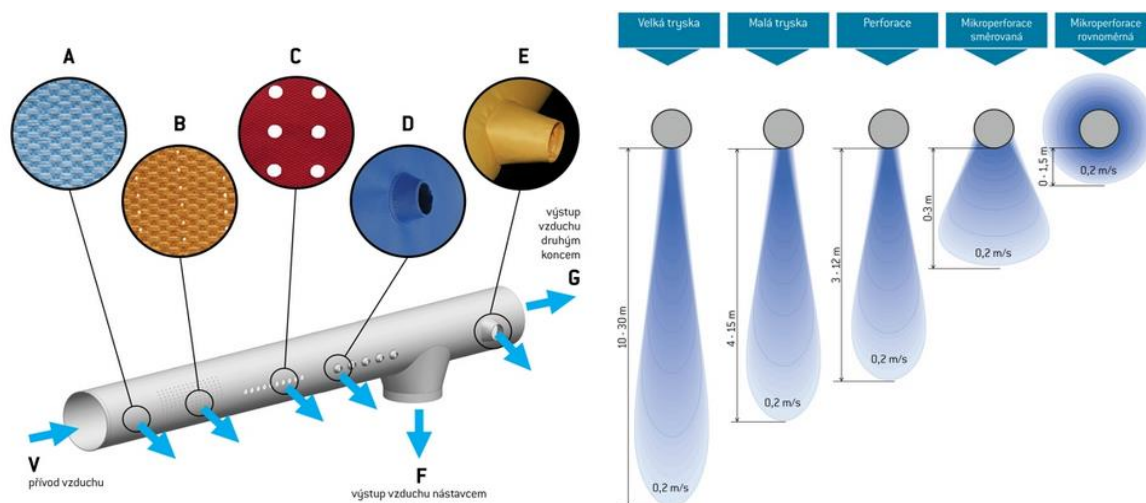
Typy a rozměry rour a potrubí mohou být zvolené v závislosti na konkrétních požadavcích, v konkrétním případě – Ø125mm.

Pro usazení potrubí do otvoru v čelní stěně stačí nejjednodušší kovové spiro potrubí. Jedná se o kvalitní nerezový mechanicky odolný výrobek. Možnou alternativou může být i plastové vzduchotechnické potrubí, které může být použité v širokém rozsahu teplot. Doprava vzduchu v pokoji vyžaduje složitější a sofistikovanější řešení. Potrubí musí být odolné vůči tepelným ztrátám, šíření hluku a škodlivých mikroorganismů. Dobrou volbou, avšak podmíněčně použitelnou, je použití hygienického potrubí, které zajišťuje všechny tyto požadavky. Hygienická hadice je opatřena jak tepelnou izolací, tak i hygienickou vrstvou proti šíření plísni a bakterii. Podle výrobce, účinnost ničení nejčastěji vyskytujících bakterií takových jako E. Coli, P. Aeruginosa, S. Aureus je větší, než 99%, zatímco plíseň na stěnách hadice se netvoří vůbec [35].



Obr. 3.7 Vzduchotechnické potrubí (zleva napravo): Spiro trouba 125 [33];
Vzduchotechnické potrubí kruhové plastové 125 [34]; Hygienická Al hadice
TERMOFLEX 25 HYGIENIC 127 [35]

Zvláštním výrobkem na trhu jsou tkaninové potrubí. Tento typ potrubí není rozšířen v domácnosti, ale poslední zkoušky uvádějí, že může stát dobrou náhradou za klasické pevné potrubí nebo hadice. Hlavní výhodou tohoto typu výrobku je téměř neomezené množství provedení, možnost praní a tím snadné dezinfekce, nízká hmotnost a možnost vzhledové úpravy (libovolná barva či grafický motiv), dobré zvukové tlumení. Při použití tkaninových potrubí odpadá nutnost dalších součástí jako odbočky, tvarovky, součástky přívodu a odvodu vzduchu. Potrubí může vykonávat všechny tři funkce, které splňuje klasické potrubí: distribuce vzduchu (vyústka), odvod vzduchu z prostoru (odsávání), vedení vzduchu (potrubí).



Obr. 3.8 Textilní potrubí a vyústky [36]

Průtok V přivedený do vyústky některým koncem nebo vstupním nástavcem z ní může vystupovat následujícími způsoby (obr. 3.7):

A – prodyšnou tkaninou,

B – mikroperforací – otvory v tkanině o průměru 0,2 až 0,4 mm,

C – perforací – otvory o průměrech nad 4 mm,

D – tryskou,

E – nástavcem – vzduch je odveden do jiné potrubní větve,

F – druhým koncem – vzduch je veden do další vyústky nebo potrubí.

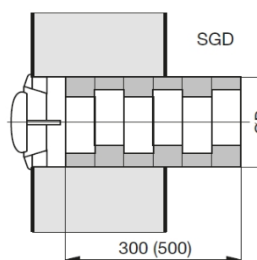
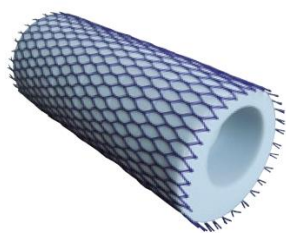
Vždy platí, že $V = A + B + C + D + E + F + G$ (některé z hodnot A, B, C, D, E, F, G mohou být nulové) [36].

Další výhodou perforovaného potrubí je možnost snadné změny dosahu proudu vzduchu z vyústek. Pokud dojde ke změně požadavku na dosah proudu nebo místo výstupu vzduchu, rukáv se jednoduše odepne v zipu a vymění se. Nejsou nutné další úpravy, jelikož se jedná o stejné druhy rukávů s různými typy perforací.

Tlumiče hluku a filtry

Tlumiče hluku a filtry jsou přídatnými součástkami potrubního systému, ačkoliv jejich použití je velice žádané. Ve velkých městech, obzvláště v jejich rušných částech je vhodné použití obou dvou zařízení současně.

Nejjednodušším způsobem snížení zvukové hladiny je použití vsuvných telefonních tlumičů. Tyto prvky dokážou snížit hodnotu zvukové hladiny při přijatelných tlakových ztrátách. Hodnota tlumení zvuku může být až 30db. Pro výrobek SDG 125/300 hodnota tlumení zvuku je přibližně 20db při tlakových ztrátách méně než 5Pa (dána výrobcem). Levnější alternativou mohou sloužit regulátory průtoku s tlumicími účinky. Jedná se o válce ze speciální tlumicí pěny, které se umístí kdekoli v potrubí, nejlépe v místě regulace průtoku. Výhodou těchto válců je snadná regulace průtoku, tlumení a tlakových ztrát otevřením nebo zaslepením otvorů.



Obr. 3.9 Vsuvný telefonní tlumič SGD 125/300 (vlevo), řez zboku (vpravo) [37]

Obr. 3.10 Regulátor průtoku s tlumícími účinky MTRP 125 [38]

Filtrační systémy do potrubí jsou představeny dvěma základními typy: filtrem do potrubí a filtrační kazetou.

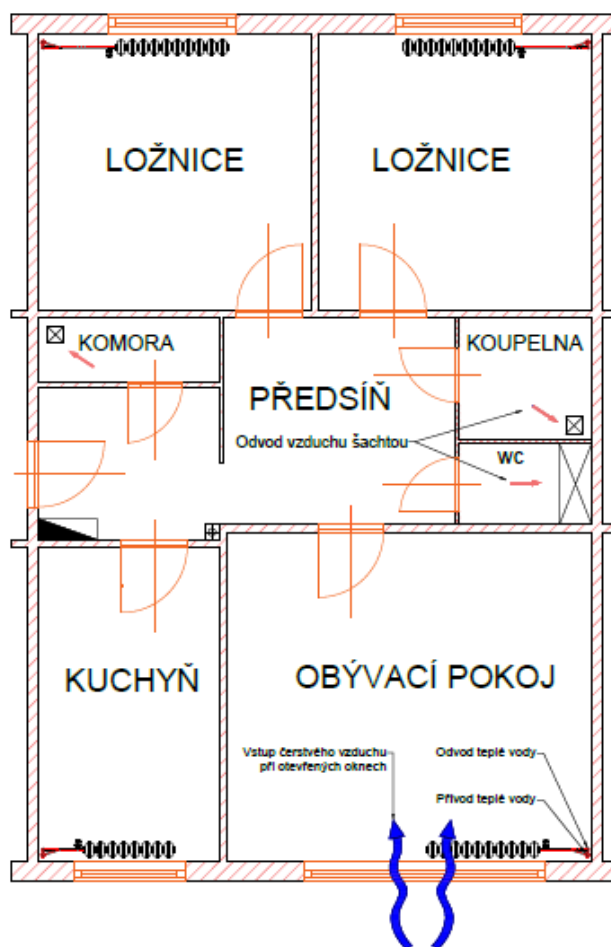
Filtrace v potrubních filtrech se provádí ve výměnných filtračních vložkách. Znečištěné vložky se jednou za čas očistí suchou cestou – oklepáním nebo vysátím. Výhodami filtrů do potrubí jsou menší pořizovací cena, snazší instalace, menší tlakové ztráty. Nevýhodami jsou malé množství variant filtrační náplně, nižší účinnost filtrace. Filtrace ve filtračních kazetách se provádí pomocí filtrační látky, která může mít tvar výměnných vložek, nebo pozvolně složené látky. Výhodou filtračních kazet je větší filtrační plocha, vyšší účinnost otlučení prachu a škodlivých látek, možnost použití filtračního materiálu pro různé účely (protiprachové, uhlíkové...). Nevýhodou je větší pořizovací cena a objem, složitější instalace.



Obr. 3.11 Filtrační prvky: Filtr do potrubí 125 mm KAP 125 [39] (vlevo); Filtrační kazeta EU 3 MFL125 [40] (vpravo)

4 Návrh systému teplovzdušného vytápění

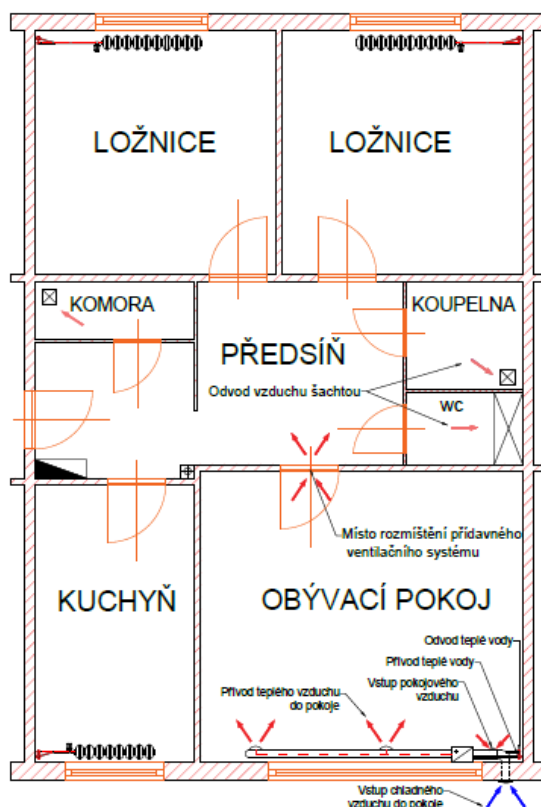
Návrh systému teplovzdušného vytápění s řízeným větráním se provede pro typickou bytovou jednotku panelového domu, konkrétně pro obývací pokoj, s již instalovanými teplovodními radiátory.



Obr. 4.1 Vykres bytové jednotky (současný stav)

Prvky systému teplovzdušného vytápění mohou být instalovány do různých míst pokoje, a to jak na stěny, tak i pod strop. Volba místa instalace tepelného výměníku je ale podmíněná. Při použití rozvodu topné vody ve stoupačkách, je vhodná instalace teplovodního výměníku v blízkosti trubek rozvodu topné vody, ideálně na původní místa zapojení radiátorů do systému. Problém instalace výměníku při stoupačkovém rozvodu spočívá v nutnosti odvodnění celého okruhu. Ten požadavek nemusí být uplatněn, avšak z důvodu snadnější a levnější instalaci je vhodný. V případě nezávislého bytového topení se jedná pouze o doporučení, jelikož systém může být snadně odvodněn a upraven podle potřeb. Všeobecným doporučením je instalace celého systému do jednoho z rohů čelní stěny, kde se často nacházejí rozvody topné vody a tato část místnosti většinou není využita. Tím se ušetří náklady na rozvody jak vzduchotechniky, tak i topné vody, samotná konstrukce se výrazně zjednoduší a nebude téměř viditelná, pokud se zvolí správné stavební řešení.

Na následujícím obrázku je znázorněno místo možného umístění prvků teplovzdušného větrání, přičemž místa vstupu jak studeného, tak i teplého pokojového vzduchu se nacházejí téměř pod stropem místnosti. Místo výstupu ohřátého vzduchu je zvoleno nad úrovní podlahy, tj. všechny součástky systému jsou postupně zapojeny po celé výšce stěny. Také je ukázáno místo možného provedení přídatného ventilačního systému.



Obr. 4.2 Výkres bytové jednotky s instalovaným systémem teplovzdušného vytápění

4.1 Tepelné ztráty místnosti a zdroje tepla

Důležitým bodem při návrhu systému teplovzdušného vytápění je stanovení tepelných ztrát místnosti, které je nutné pokrýt. Rozměry místnosti činí 4,7m x 4,3m x 2,5m. Konstrukční výška, tedy výška mezi povrchem podlahy v daném pokoji a povrchem podlahy v pokoji o patro výš, je 2,8m. Rozměry okna činí 4,0m x 1,2m; rozměry mezipokojových dveří činí 0,8, x 2,0 x 0,03 m.

4.1.1 Součinitel prostupu tepla stavebních konstrukcí

Pro stanovení tepelných ztrát místnosti je třeba nejprve stanovit součinitele prostupu tepla všech ochlazovaných ploch. Výpočet se provede pomocí online kalkulátoru „*Prostup tepla vícevrstvou konstrukcí a průběh teplot v konstrukci*“. Výpočet prostupu tepla vícevrstvou neprůsvitnou konstrukcí umožňuje určit tepelný odpor a součinitel prostupu tepla konstrukce dle platných norem a výsledek porovnat s požadavky aktuální ČSN 73 0540–2:2011 „Tepelná ochrana budov“ – Část 2. Výpočet je

naprogramován v souladu s ČSN 73 0540–4 „Tepelná ochrana budov“ – Část 4: Výpočtové metody a ČSN EN ISO 6946 „Stavební prvky a stavební konstrukce“. Do výpočtu lze zadávat konstrukce s tepelnou izolací proměnné tloušťky, konstrukce se systematickými tepelnými mosty, střechy s opačným pořadím vrstev [41].

Při výpočtech budou použité:

- Návrhové teploty pro město Brno během otopného období: návrhová teplota venkovního vzduchu v zimním období $T_e -12\text{ °C}$, požadována teplota vzduchu v obývacím pokoji $T_{ai} 22\text{ °C}$, požadována teplota vzduchu v předsíni $T_{ai} 18\text{ °C}$ (což je v rozporu s vyhláškou č. 194/2007 Sb. [42] a ČSN EN 12831 [43], uvádějící teplotu vytápěné místnosti $T_{ai} 20\text{ °C}$ a teplotu $T_{ai} 15\text{ °C}$ pro nevytápěnou místnost). Dané teploty ale ve větší míře odpovídají reální teplotě spokojenosti obyvatel s vnitřním stavem a s ohledem na hygienické podmínky (viz kap. 3.1) by měli být přizpůsobeny vyšším požadavkům.
- Materiálové vlastnosti vrstev stěn:
Materiálové složení čelní stěny:
 - omítka vápenná ($d = 0,005\text{m}$; $\lambda_u = 0,88\text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$)
 - železobeton ($d = 0,150\text{m}$; $\lambda_u = 1,43\text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$)
 - pěnový polystyren ($d = 0,150\text{m}$; $\lambda_u = 0,04\text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$)
 - omítka perlitová ($d = 0,005\text{m}$; $\lambda_u = 0,1\text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$)Materiálové složení vnitřní stěny:
 - omítka vápenná ($d = 0,001\text{m}$; $\lambda_u = 0,88\text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$)
 - železobeton ($d = 0,100\text{m}$; $\lambda_u = 1,43\text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$)
 - omítka vápenná ($d = 0,001\text{m}$; $\lambda_u = 0,88\text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$)
- Součinitele prostupu tepla okna a mezipokojových dveří dané výrobcí:
 - $U_{okna} = 1,2\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$
 - $U_{dveře} = 2,38\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$

Tab. 4.1 Vypočtené součinitele prostupu tepla stavebních a jiných ploch

	Součinitel prostupu tepla [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$]
Čelní izolovaná stěna	0,25
Okno	1,2
Vnitřní stěna	1,37
Mezipokojové dveře	2,38

4.1.2 Tepelné ztráty obývacího pokoje

V daném případě není možné stanovit přesnou hodnotu tepelných ztrát, jelikož je závislá na vlastnostech všech vrstev materiálů, jejichž vlastnosti nejsou známy. Můžeme stanovit přibližné hodnoty ztrát v souladu s normou ČSN 06 0210. Norma ČSN 06 0210 již není platná, je nahrazená novým způsobem výpočtu podle programu *Zelená úsporám*. Pro přibližný výpočet tepelných ztrát je norma ČSN 06 0210 i přesto dostatečně přesná.

Celkový výpočet je dán v příloze 1

Tab. 4.2 Výsledné tepelné ztráty obývacího pokoje

Druh tepelné ztráty/zisku	Hodnota ztrát/zisku [W]
Tepelná ztráta prostupem	386W
Tepelná ztráta větráním	310W
Tepelný zisk od jedné osoby	70W
Celková tepelná ztráta pokoje	696W
Celková tepelná ztráta pokoje (přítomnost jedné osoby)	626W

Výsledná tepelná ztráta pokoje činí 696W (zaokrouhleně 700W), pokud se v místnosti nenachází žádný člověk nebo další zdroj tepla. Z důvodu ne zcela přesných hodnot tepelných ztrát, hlavně prostupem, a dodržení přísnějších požadavků na systém vytápění, celkovou tepelnou ztrátou k pokrytí tepelným zařízením bude uvažovaná hodnota minimálně o 10% větší, než vypočítána. Zaručenou hodnotou tepelného výkonu, potřebného k pokrytí tepelných ztrát, můžeme uvažovat 800W.

4.2 Zdroje tepla

Aby nový systém vytápění byl nejen účinný, efektivní, pružný, ale i maximálně levný a pohodlný, je zapotřebí minimalizovat zásah do stavby a využít stávajících stavebních řešení.

Zdroj tepla při teplovzdušném vytápění by měl být schopen pružně odpovídat změně výkonových požadavků v závislosti na změnách venkovních podmínek. Nejlépe jsou tomu přizpůsobeny zdroje tepla na plyn (kapalný nebo plyný), olej nebo elektrické. Zdroje tepla jsou nejčastěji představeny zařízením tepláren, elektráren nebo výtopen, odkud se topná voda přivádí pomocí dálkových rozvodů, nebo plynovými kotly, které jsou instalované přímo ve vytápěných místnostech nebo mimo ně, ale v mezích jednotlivé budovy. Většina bytových a starších kancelářských domů má již instalované původní trubkové rozvody pro teplovodní radiátory. V dnešní době tyto zdroje tepla dosahují dostatečnou účinnost a spolehlivost, a, jelikož rozvody teplosnosného média (tj. vody) jsou již hluboce vmontované do stěn, je vhodné je použít i pro účely teplovzdušného vytápění.

4.3 Výměník tepla

Nejdůležitější částí teplovzdušného zařízení je výměník tepla, předávající energii teplé vody vstupujícímu vzduchu. Nejvhodnějším typem výměníku pro daný účel je lamelový výměník voda-vzduch. Tyto výměníky mají nízkou tepelnou setrvačnost, velkou teplosměnnou plochu a nízké hodnoty tlakových spádů, proto dnes dosahují vysokých účinností.

Pro účely bakalářské práce byl použit software „OemBat“ společnosti LLOYD COILS. Výpočet pomocí programu má, na rozdíl od teoretického, jednu velkou výhodu. Software umožní návrh výměníku s ohledem na praktické zkušenosti výrobce a jeho technické možnosti. Jde především o modelovou unifikaci: vnější rozměry jednotky, množství a velikost trubek, počet a místa vstupu vody, rozteč lamel. Další výhodou je automatické hledání součinitelů fyzikálních veličin v závislosti na podmínkách prostředí a teponosných medií.

4.3.1 Provozní parametry

Výkon:

Teplovzdušné zařízení musí být schopné dodat množství energie dostatečné k pokrytí největších tepelných ztrát a to bez dalších zdrojů tepla (včetně lidí a zvířat). Návrhový výkon teplovzdušného systému je tedy roven **800W**.

Průtok vzduchu:

Podle hygienických norem, minimální průtok čerstvého vzduchu do obytné místnosti za hodinu stanoví polovinu jeho objemu tj. $0.5V_{\text{vnitř.}}/\text{h}$. Pro obývací pokoj zadané bytové jednotky průtok čerstvého vzduchu činí $26\text{m}^3/\text{h}$. Při směšování vzduchu v kombinovaném režimu provozu, průtok ohřátého pokojového vzduchu, s důvodu snazší regulace, se rovná průtoku čerstvého tj. $26\text{m}^3/\text{h}$. Výsledný objemový průtok přes teplovzdušný výměník činí **$52\text{m}^3/\text{h}$** .

Vstupní teplota vzduchu:

Při kombinovaném provozu systému vytápění teplota vzduchu na vstupu se rovná venkovní (až $T_e -12^\circ\text{C}$). Následně dochází ke směšování vzduchu a ohřátí studeného venkovního vzduchu teplým pokojovým před vstupem do výměníku. Pomocí programu „VÝPOČET STAVU VZDUCHU PŘI SMĚŠOVÁNÍ“ [44] bylo zjištěno, že při teplotě venkovního vzduchu $T_e -12^\circ\text{C}$ a teplotě, ohřátého při cirkulačním provozu, pokojového vzduchu pod stropem $+24^\circ\text{C}$ (teplota je udávána většinou topenářských firem při teplotě v obývací části místnosti $T_{\text{vn}} +22^\circ\text{C}$, navíc hodnota teploty je udávána na obr. 2.2), v závislosti na vlhkostech pokojového a vnějšího prostředí, nejnižší vypočtená teplota smíšeného vzduchu vstupujícího do výměníku činí přibližně **$T_{\text{vstup}} +4^\circ\text{C}$** .

Teplotní spád:

Teplotní spád přívodné vody je důležitý jak s hlediska výkonné charakteristiky, tak i s hlediska ekonomické. Všeobecně, větší teplota přívodné vody, v porovnání s nižší teplotou přívodu při stejném teplotním spádu, přispívá k většímu tepelnému toku při stejných rozměrech zářičů a podstatně většímu uplatnění i sálavé složky vytápění (podle Stefanova – Boltzmannova zákona). Další výhodou větší teploty vody v potrubí je menší měrná hmotnost, kvůli čemu se nároky na čerpadla potrubní cesty zmenšují. Naopak, větší teplota přívodné vody je příčinou větších tepelných ztrát, přičemž závislost je přímo úměrná. Zmenšení teploty media v sítích přispívá ke zmenšení ztrát prostupem v hodnotě desítek procent.

Po řadě výpočtů bylo stanoveno, že nejvýhodnějším teplotním spádem přívodné vody pro dané teplovzdušné zařízení je **60/40 °C**. Je „zlatým středem“ mezi charakteristikami výkonu a tepelných ztrát. Teplota přívodné vody 60 °C, v porovnání jak s klasickým teplovodním spádem 90/70 °C, tak i úspornějším 70/50 °C, již přispívá ke zvyšování účinnosti tepelného vodního okruhu výrazným snižováním tepelných ztrát.

4.3.2 Návrh výměníku voda-vzduch

Výsledkem výpočtu je lamelový výměník voda-vzduch, který může být v reálu vyroben bez velkých a drahých úprav vyrábějících strojů.

Podrobný průběh výpočtu je udáván v příloze 2.

4.4 Regulace systému teplovzdušného vytápění

Možnosti současných elektronických prvků posouvají regulaci tepelného zařízení daleko za meze volby teplotní úrovně. Pokročilé regulační jednotky umožňují regulovat průtok vody, otáčky ventilátoru, provádět časování jednotlivých režimů vytápění, přičemž změna nastavení řídicí jednotky může být provedena i dálkově pomocí internetového spojení, SMS a dalších prostředků. Sofistikovanější řídicí systémy ale odpovídají vyšší pořizovací ceně.

Může být použita i levnější varianta. Současné termostatické hlavice, které se používají pro řízení teplovodních radiátorů, jsou vybaveny jednoduchými mikroprocesory. Většina regulovatelných parametrů je při použití hlavic dostupná. Regulace by měla zahrnovat i komunikaci mezi řídicí hlavicí a ventilátorem, zapnutí a vypnutí, kterého, popř. i změna otáček, by bylo řízené na základě změn parametrů naprogramovaných v mikroprocesoru termostatické hlavice.

Cena termostatických hlavic se většinou pohybuje v řadě několika stovek korun. Jedná se proto o velkou úsporu, jelikož pořizovací částka na základě termostatické hlavice by byla podstatně menší, než jsou ceny řídicí elektroniky většiny výrobců.

4.5 Konstrukce teplovzdušného zařízení

Volba prvků pro teplovzdušný systém již zmíněného pokoje je závislá i na lokalitě bytového domu. Předpokladem je panelové sídliště na okraji většího města jako Brno nebo Praha. Jedná se o relativně klidné lokality, kde obyvatele nejsou obtěžováni nadměrným hlukem. Opačná je situace s kvalitou ovzduší. Právě u příměstských sídlišť se často nachází husté sítě mezinárodních dopravních cest, proto zařízení na čištění venkovního vzduchu je třeba vnímat jako důležitou součást celého systému.

Pro konkrétní systém teplovzdušného vytápění se zvolí:

Součástí potrubí:

- Potrubí pro usazení ve stěně: *Spiro trouba 125* [33]
- Vzduchotechnické potrubí: *Hygienická Al hadice TERMOFLEX 25 HYGIENIC 127* [35]
- Koleno: *Oblouk lisovaný s těsněním OLG 90° 125* [45]
- Odbočka pro nasátí pokojového vzduchu: *Odbočka jednostranná s těsněním OJLG 90° 125/125* [46]
- Zařízení výfuku ohřátého vzduchu do místnosti: *Textilní potrubí s perforací PŘÍHODA* [36]
- Spojka vzduchotechnická: *Spojka vnitřní SV 125* [47]
- Prvek přívodu čerstvého vzduchu: *Těsný talířový ventil s elektrickým ovládáním VEL 14-4-0-9* [29]
- Prvek přívodu pokojového vzduchu: *Talířový ventil odvodní KO 125* [30]

Zařízení úpravy vzduchu:

- Vzduchový filtr: *Filtrační kazeta EU 3 MFL125* [40]
- Tlumič hluku: *Regulátor průtoku s tlumícími účinky MTRP 125* [38]

Armatury přívodu vody:

- Ventil uzavření průtoku vody do výměníku (použije se pro případnou údržbu nebo výměnu výměníku, termostatického ventilu): *2 x PPR Kulový kohout 20 x 1/2"* [48]
- Zařízení řízeného přívodu teplé vody: *Termostatický ventil radiátorový přímý V&G 416D* [49] + *Termostatická hlavice digitální ELEKTROBOCK HD13-L* [50]

Výměník tepla:

- Použije se výše navržený výměník voda-vzduch

Ventilátor:

Ventilátor se zvolí na základě tlakových ztrát vzduchové cesty a požadovaného průtoku vzduchu. Základní vzorec pro výpočet tlaku potřebného pro překonání ventilátorem je Bernoulliho rovnice pro rovnoměrné proudění:

$$\frac{p_1}{\rho_1} + \frac{v_1^2}{2} + gh_1 = \frac{p_2}{\rho_2} + \frac{v_2^2}{2} + gh_2 + Y_{z1,2}$$

Kde:

$\frac{p}{\rho} \left[\frac{\text{Pa} \cdot \text{kg}}{\text{m}^3} \right]$ – měrná tlaková energie

$\frac{v^2}{2} \left[\frac{\text{m}^2}{\text{s}^2} \right]$ – měrná kinetická energie

$gh \left[\frac{\text{m}^2}{\text{s}^2} \right]$ – měrná potenciální energie

$Y_z [\text{Pa}]$ – měrná ztrátová energie

V daném případě pomoci Bernoulliho rovnice nelze přesně určit hodnotu, jelikož tlaky p_1 a p_2 nejsou konstantní a mění se v závislosti na podmínkách počasí a vnitřního prostředí. Lze tedy potřebný tlak ventilátoru určit z tlakových ztrát potrubí a dalších prvků.

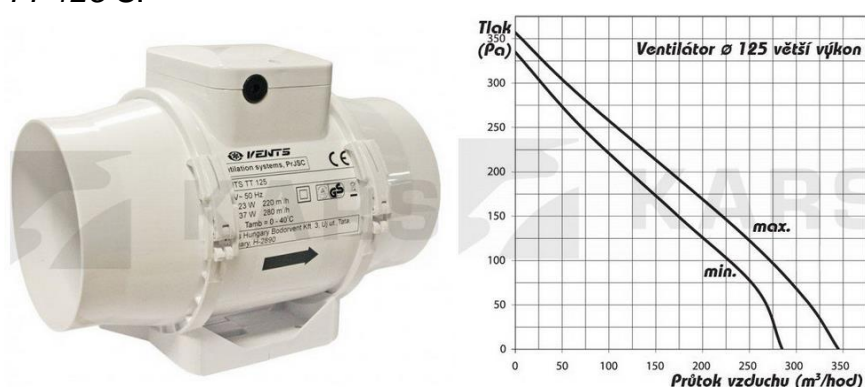
Pro přibližný výpočet tlakových ztrát jednoduchých vzduchotechnických soustav lze použít hodnoty místních a délkových ztrát dané výrobcem:

Tab. 5 Tlakové ztráty součástí vzduchotechnického potrubí

	Místní ztráta [Pa]	Měrná ztráta [Pa/m]	Délka [m]	Celková ztráta [Pa]
Spiro potrubí	-	0,07	0,3	0,021
Al hadice TERMOFLEX Hyg.	-	0,32	2,2	0,704
Koleno 90stup (x3)	3	-		3
Odbočka nasátí pok. vzduchu	1	-	-	1
Textilní potrubí (zajištění statického tlaku)	20	-	-	20
Spojka	-	-	-	0
Těsný talířový ventil (otevřený stav)	10	-	-	10
Talířový ventil odvodni KO	10	-	-	10
Filtr	25	-	-	25
Tlumič hluku	10	-	-	10
Celkem				79,725

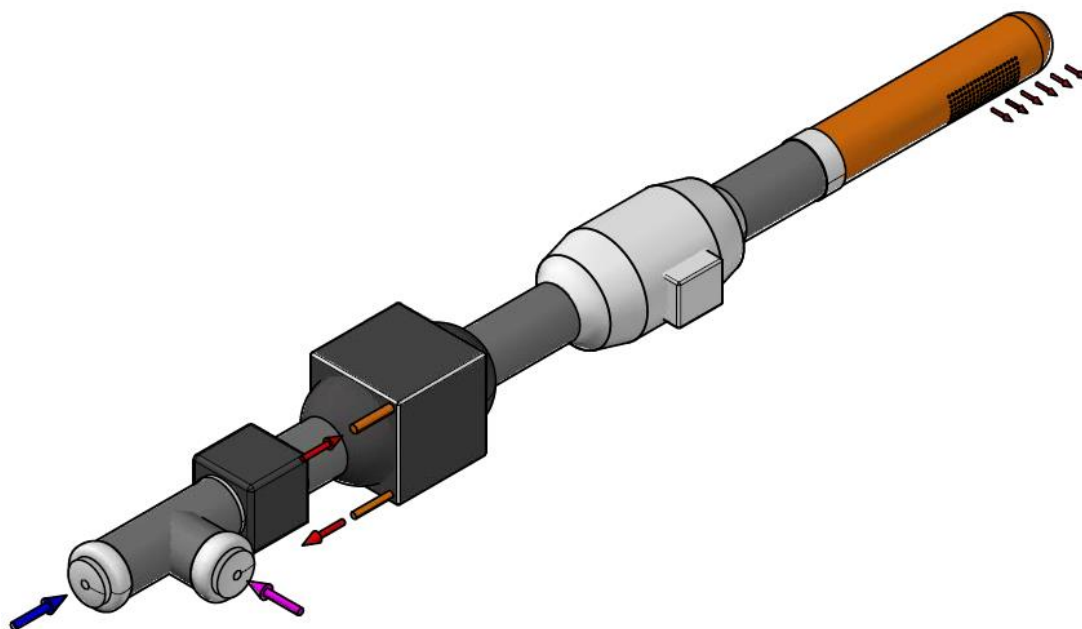
Výsledné tlakové ztráty při použití tlumiče hluku činí přibližně 80 Pa. V závislosti na podmínkách počasí (vlhkost, tlak, vítr...) ventilátor musí překonat větší nebo menší tlak, než je daná hodnota. Vysoká modulárnost systému vytápění umožňuje snadnou výměnu součástí nebo doplnění o nové prvky. Aby byl zajištěn provoz systému i s mnohem vyššími nároky, musí být zvolen ventilátor schopný překonávat větší tlakové ztráty.

- Pro příslušné vzduchotechnické zařízení bude zvolen ventilátor Vents TT 125 S.



Obr. 5.1 Potrubní ventilátor Vents TT 125 S (vlevo); křivka závislosti tlaku na průtoku vzduchu (vpravo) [51]

Výsledné zapojení prvků systému teplovzdušného vytápění vypadá následovně:



Obr. 5.2 Systém teplovzdušného vytápění (měřítko nemusí odpovídat skutečnému)

Modrá a růžová šípky odpovídají vstupu chladného a teplého vzduchu do systému vytápění. Červené šípky odpovídají vstupu a výstupu teplé vody. Seskupení červených šipek odpovídá vstupu ohřátého vzduchu do vytápěné místnosti.

4.6 Instalace zařízení a stavební úpravy

Prvky systému teplovzdušného vytápění mohou být instalovány do různých míst pokoje a to jak na stěny, tak i na strop. Nejlepší volbou je ale místo v blízkosti trubek teplé vody a v horní části místnosti, nejlíp u stropu. Tím se ušetří náklady na rozvody jak vzduchotechniky, tak i teplé vody, samotná konstrukce se výrazně zjednoduší. Podle požadavků zákazníků, prvky zařízení mohou být kterýmkoliv způsobem zakrytovány (např. panely ze sádkkartonu). Podmínkou je relativně snadný přístup k zařízení kvůli možným opravám a čištění. Zakrytování zlepší vnější vzhled vytápěné místnosti, přičemž žádný z prvků systému (kromě prvků vstupu a výstupu vzduchu) nemusí být vůbec viděn. Má to i další výhodu – zakrytováním se zlepší zvukový útlum vzduchotechnického zařízení. Při správně zvoleném materiálu může odpadnout nutnost použití tlumičů hluku.

S hlediska stavebních úprav, se nejedná o velký zásah do stavby. Největším zákrokem je vytvoření otvoru skrz čelní stěnu pro přívod čerstvého vzduchu. Bez izolace tohoto místa by se jednalo o výrazný tepelný most. Tento problém se řeší správným zakrytováním celého systému vytápění a zvláště místa okolo otvoru. Nemusí tedy dojít k většímu tepelnému toku mezi vytápěním prostorem a vnějším prostředím.

5 Možnosti rekuperace

Rekuperace = zpětné získávání tepla. Přiváděný venkovní čerstvý vzduch prochází přes rekuperační výměník uvnitř vzduchotechnické jednotky, do kterého z druhé strany vstupuje teplý odpadní vzduch z objektu. Obě vzdušniny jsou od sebe dokonale odděleny soustavou kanálků, aby nedocházelo ke zpětnému průniku pachů z odváděného do přívodního vzduchu. Přes stěny kanálů teplo z odpadního vzduchu přechází do přívodního, který je tak předehříván. [52].

Kapitoly 4 a 5 byly věnovány principu a konstrukci větracího systému ve starších bytových nebo kancelářských jednotkách, systém přirozeného větrání, kterých je závislý na proudění vzduchu napříč celou bytovou nebo větší kancelářskou jednotkou, přičemž v místnostech těchto jednotek mohlo dojít k proniknutí cizích zápachů a hluku.

V případě, že větrací systém bytové jednotky je nezávislý, nebo místnosti jsou zcela izolované, je možné použít systém rekuperace vzduchu, což se kladně projeví na účinnosti systému.

5.1 Přehled lokálních pokojových rekuperačních výměníků

Rekuperační jednotky jsou široce představeny na trhu a jejich vývoj i dále pokračuje. Při použití rekupérátoru vzduchu v nově navrženém systému teplovzdušného

vytápění jsou lepší volbou lokální rekuperační výměníky vzduchu. Dnes jsou na trhu tři základní třídy výměníku: výměník s keramickým akumulátorem, protiproudý trubkový výměník a protiproudý lamelový výměník.

Výměník s keramickým akumulátorem

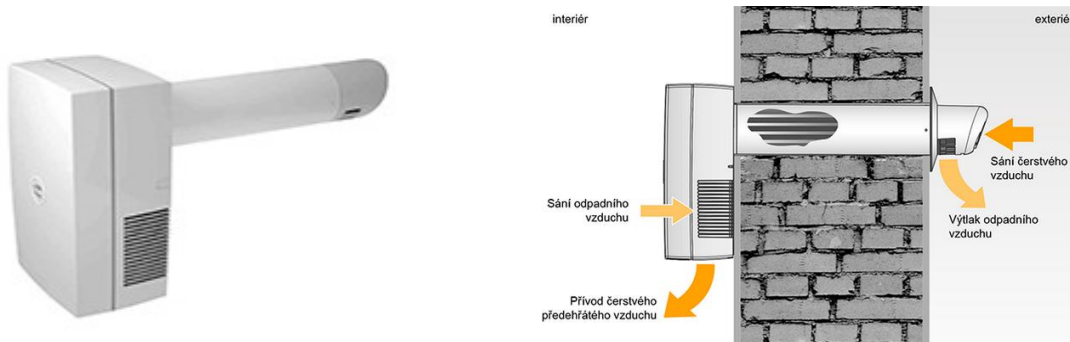


Obr. 6.1 Lokální rekuperační jednotka AIOLOS 180 [53]

Princip funkce výměníku s keramickým akumulátorem spočívá ve dvou cyklech provozu:

- 1. cyklus:** Teplý a vydýchaný vzduch se odsává z místnosti skrz keramický akumulátor. Poté se keramický akumulátor ohřeje na teplotu odsávaného vzduchu.
- 2. cyklus:** Čerstvý vzduch se nasává z ulice, následně projde skrz filtr a dále keramický akumulátor. V keramickém akumulátoru se čerstvý vzduch ohřeje a následně bude vháněn do místnosti.

Protiproudý vzduchový trubkový výměník



Obr. 6.2 Princip provozu rekuperační jednotky REC SMART [54]

Princip funkce protiproudého trubkového výměníku spočívá v odsátí vydychaného teplého vzduchu a současném protiproudém nasátí čerstvého venkovního vzduchu. Odsávaný vzduch proudí vzduchovými trubicemi z pokoje a nasávaný vzduch proudí ve výměníku kolem trubic s odsávaným vzduchem, čímž se ohřívá na požadovanou teplotu.

Protiproudý vzduchový lamelový výměník

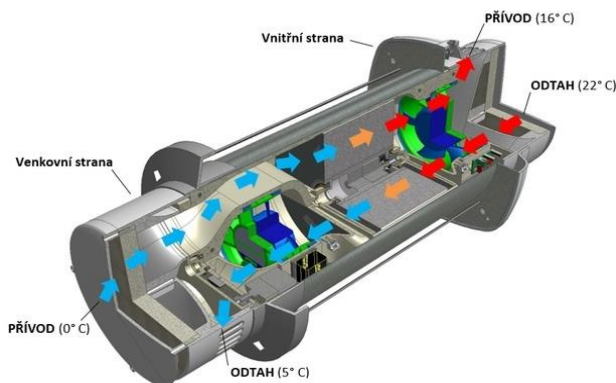
Princip funkce protiproudého lamelového výměníku je shodný s principem funkce trubkového protiproudého výměníku s tím rozdílem, že vzduch proudí lamelami.



Obr. 6.3 Lokální rekuperační jednotka DIMPLEX DL 50 [55]

Lokální rotační hliníkový výměník

Zvláštním případem malých rekuperačních jednotek je lokální rotační hliníkový výměník. Tento typ výměníku je představen pouze jediným výrobkem na trhu, proto tento typ je uveden ve zvláštní třídě. Jedná se o model TX 64 od společnosti TURBOVEX. Tento výrobek je účinný i při velkých vlhkostech odsávaného vzduchu a díky principu svého provozu nedochází ke kondenzátu uvnitř konstrukce. Rotační výměník TURBOVEX TX 64 pracuje jako klasický rotační výměník, tudíž dochází k směšování malého množství vydychaného a čerstvého vzduchu, proto je zařazen ke kategorii rekuperátoru podmíněně.



Obr. 6.4 Lokální rekuperační jednotka TX 64 [56]

5.2 Využití pokojových rekuperátorů při teplovzdušném vytápění

Většina výrobců udává účinnost lokálních rekuperačních jednotek na úrovni osmdesáti až devadesáti procent. Reálná účinnost většiny zařízení je posuzovaná jako normální nad šedesát procent, jako dobrá nad sedmdesát procent a špičková nad osmdesát procent. Reálná účinnost je závislá na umístění, tvaru ohřívané místnosti, vlhkostí atd. Ne zřídka, proto, je reálná účinnost na úrovni padesáti procent.

Nižší reálná účinnost rekuperačních jednotek vyžaduje dodatečný ohřev přiváděného vzduchu. Jednotky s cylindrickým provedením jsou vhodné k využití dohromady s výše uvedeným systémem teplovzdušného vytápění.

Využití pokojových rekuperátorů vzduchu s keramickým akumulátorem

Provoz systému teplovzdušného vytápění využívající výměník s keramickým akumulátorem musí být řízen podle cyklu provozu výměníku s akumulátorem (60–70 vteřin výfuk, 60–70 vteřin nasátí). Nevýhodou tohoto cyklu je nerovnoměrná dodávka tepelné energie a větší rychlost vstupu vzduchu do pokoje, jelikož systém musí zajistit dodávku stejného množství čerstvého vzduchu za poloviční dobu.

Kvůli střídání vstupu a výstupu vzduchu, využití jednotky s keramickým akumulátorem je nevhodná při všech možných typech provozů.

Využití pokojových protiproudých rekuperátorů vzduchu

Protiproudé výměníky se současným výfukem a nasátím vzduchu jsou představeny lamelovým a rotačním provedením (TX 64). Vzhledem ke srovnatelným hodnotám účinnosti a protiproudému provedení lamelových a rekuperačních výměníků, lze princip jejich zapojení k systému teplovzdušného vytápění posuzovat za téměř stejný. Tyto typy výměníku pracují v režimu kontinuálního provozu, proto při použití v systému vytápění dodávka tepelné energie by byla zcela konstantní při nižší rychlosti proudění vzduchu a tím i menší hlučnosti.

Pokojové protiproudé rekuperátory vzduchu jsou vhodné k použití v systémech teplovzdušného vytápění.

V konečném důsledku, systém teplovzdušného vytápění se správně zvoleným rekuperačním výměníkem může ušetřit i více jak padesát procent nákladů. Je to technicky zajímavé a moderní řešení, ale vzniká otázka vhodnosti použití obdobného systému, když existuje možnost využití centralizovaného řešení.

6 Ekonomické zhodnocení projektu

Důležitým faktorem při posouzení vhodnosti instalace nového systému vytápění je kalkulace nákladů jak pořizovacích, tak i provozních.

Provozní náklady

Porovnání ročních nákladů při použití původního a nového systému vytápění musí být provedeno kontinuálním měřením v délce celého otopného období. Lze ale předpokládat, že díky optimálnímu rozvrstvení distribuovaného tepla dojde ke snížení spotřeby tepla pro dosažení pohody prostředí v místnosti a tím i k úspoře ročních nákladů.

Pořizovací náklady

Kalkulace pořizovacích nákladů, na rozdíl od provozních, se provede pouze sečtením cen jednotlivých prvků. Cena za instalaci systému a navýšení ceny pro tržní prodej nebudou uvažované, jelikož jsou závislé na peněžní filosofii jednotlivých společností.

Tab. 7 Kalkulace pořizovacích nákladů systému teplovzdušného vytápění

	Délka	Cena (Kč/m)	Cena, vč. DPH (Kč)
Spiro potrubí	0,3	109	32,7
Al hadice TERMOFLEX Hyg.	2,2	237	521,4
Koleno 90stup (x3)	-	-	870
Odbočka nasátí pok. vzduchu	-	-	259
Textilní potrubí	2,5	60	150
Spojka	-	-	38
Těsný talířový ventil (otevřený stav)	-	-	1723
Talířový ventil odvodni KO	-	-	152
Filtr	-	-	1053
Tlumič hluku	-	-	173
ventilátor Vents TT 125 S	-	-	1943
Termostatická hlavice digitální	-	-	508
Termostatický ventil radiátorový	-	-	149
Kulový kohout (x2)	-	-	354
Výměník voda-vzduch	-	-	10422
Celkem			18348,1

Celková cena jednotlivých dílů činí přibližně 18,5 tis. Kč. Cena výměníku, uvedená v příloze 2, činí přibližně 10,5 tis. Kč, ale je uvedena pro kusový výrobek. Výměníky ze stejných materiálů a navržené na stejné parametry se na trhu prodávají již od dvou tis. Kč bez DPH. Do celkové ceny nebyly zahrnuty ceny prvků regulace a napájení, např. elektronický prvek, předávající signály od řídicího systému (v našem případě termostatická hlava) a stavebních pomocných prvků (např. uchycení a

izolace). Správnou volbou prvků a při velkoobchodních objemů je celkem reálně dosáhnout konečné ceny zařízení **pod 10000 Kč**. Samozřejmě, s použitím přídatného ventilačního systému a sofistikovanějšího systému regulace cena mírně naroste.

Konkurenční výrobky

V tento čas nejsou na trhu srovnatelné systémy vytápění a větrání téměř nejsou, jelikož skoro všechny systémy teplovzdušného vytápění mají centralizované provedení a nejsou vhodné k instalaci do starších budov. Nejvíce navrženému systému odpovídají systémy rekuperace vzduchu (bez nebo s předeheřevem).

Ceny pokojových rekuperátorů (přibližně od osmi do třiceti tis. Kč bez DPH) odpovídají ceně navrženého systému teplovzdušného vytápění (i při větším prodejním cenám pro veřejnost). Výhodou pokojových rekuperátorů je levnější a snadnější instalace. Nevýhodou rekuperátoru je skutečnost, že reálná účinnost rekuperace je od 50%, proto i při lepší účinnosti je zachována závislost od primárního zdroje tepla, tudíž se nejedná o teplovzdušné vytápění, ani o teplovzdušné větrání.

Ceny menších centralizovaných rekuperátorů s předeheřevem začínají přibližně od 45 tis. Kč bez DPH, přičemž se jedná pouze o samotný rekuperátor bez vzduchotechnických rozvodů. Použitím několika systému teplovzdušného vytápění, podobným navrženému, najednou, by se dalo dosáhnout stejných parametrů při nižší pořizovací ceně. Další nevýhodou systému centralizovaných rekuperátorů jsou větší prostorové nároky a složitější instalace, zahrnující rozvod potrubí do všech místností. Navíc, předeheřev vzduchu se uplatňuje pomocí elektrických ohříváku, což je jedním z nejdražších způsobů ohřevu.

V důsledku porovnání je možné uvést, že navržený systém teplovzdušného vytápění s řízeným přívodem vzduchu může být atraktivní alternativou moderním způsobům vytápění s rekuperací. Systém vytápění je skoro stejně drahý jako pokojové rekuperační jednotky, které nejsou nezávislými zdroji tepla, a levnější, než centralizované rekuperátory s předeheřevem. Nižší pořizovací cena systému je podmínována především tím, že systém je sestaven z běžně dostupných a tím i levnějších dílů.

ZÁVĚR

Tato bakalářská práce vznikla na základě nutnosti přizpůsobení stávajících systému vytápění a větrání novým tepelným a hygienickým požadavkům. Zateplení fasád a výměna oken výrazně snížily tepelné ztráty prostupem a infiltrací, ale způsobily velmi podmíněnou funkčnost původních systémů šachtového větrání. Zároveň původní teplovodní radiátory se ukázaly v mnoha případech jako málo pružné zařízení, závislé na mnoha parametrech. Účinnosti systémů vytápění a větrání, jak se ukázalo, jsou na sobě závislé. Je proto smysluplné uvažovat, že řešením této problematiky je kombinace systémů vytápění a větrání.

Výstupem této bakalářské práce je navržený model systému teplovzdušného vytápění s řízeným přívodem vzduchu, který je náhradou za původní teplovodní radiátor, především v bytových obyvácích a kancelářských domech. Systém využívá přehřátí čerstvého vzduchu již před průchodem tepelným výměníkem, ve výměníku následně dohřívá a vstup čerstvého ohřátého vzduchu do pokoje se provádí přes perforaci v tkaninovém potrubí u podlahy místnosti. Tento model možného provedení teplovzdušného systému umožňuje porovnat nový navržený systém s klasickými teplovodními radiátory a moderními systémy s pokojovými nebo centralizovanými rekuperátory.

V porovnání se systémem vytápění teplovodními radiátory, nově navržený systém teplovzdušného vytápění má očividné výhody a to distribuci čerstvého upraveného vzduchu do místa pobytu lidí, eliminaci výškového rozvrstvení teplotního profilu, zajištění funkčnosti původního šachtového systému větrání atd. Nevýhodou nového systému je zcela nevyužitá sálavá složka tepla, což často nemá velký dopad na vlastní posouzení tepelné pohody člověkem, jelikož i při teplovodním vytápění sálavá složka bývá často zanedbaná.

Další možnou náhradou nebo doplněním za teplovodní radiátory mohou být pokojové nebo centralizované rekuperátory. Výhodou právě nově navrženého systému, v porovnání s rekuperátory, je nezávislost na jiných zdrojích tepla ohřev vzduchu a zároveň lokální provedení, které nevyžaduje větší prostorové nároky.

Ekonomické zhodnocení projektu může být v plné míře dostačujícím pouze při provedení praktických zkoušek a experimentů, ale pouhé sečtení pořizovacích nákladů ukázalo, že nový pokojový systém teplovzdušného vytápění se nachází v jedné cenové hladině s pokojovými rekuperátory a soustava několika zařízení je výrazně levnější než centralizované rekuperační systémy s dohřevem.

V budoucnu systém může být přizpůsoben i k chlazení místnosti v letním období, pokud se najde vhodný zdroj studené vody a vyřeší se odvod kondenzátu s výměníkem. Navržený systém vytápění proto může stát nejen levnější alternativou moderním systémům vytápění a rekuperaci tepla, ale i vhodným zařízením k úpravě vzduchu a zajištění celkového komfortu bydlení.

Seznam použitých zdrojů

-
- [1] MINISTERSTVO PRO MÍSTNÍ ROZVOJ ČR, *BYDLENÍ V ČESKÉ REPUBLICE V ČÍSLECH*, 2015. ISBN 978-80-7538-029-6, In: [online]. [cit. 2017–02–28]. Dostupné z: [https://www.mmr.cz/getmedia/3fda1c6e-643f-45f3-9b1a-032d5dae9b7d/Bydleni-v-CR-v-cislech-\(zari-2015\).pdf](https://www.mmr.cz/getmedia/3fda1c6e-643f-45f3-9b1a-032d5dae9b7d/Bydleni-v-CR-v-cislech-(zari-2015).pdf)
- [2] CIHELKA, Jaromír. *Vytápění a větrání*. Praha: SNTL, 1975. 697 s.
- [3] PULKRÁBEK, Jan. *Větrání 3. vyd.* Praha: SNTL, 1961. 391 s
- [4] ASHRAE Fundamentals Handbook, 1997
- [5] HORD servis In: [online]. [cit. 2017–03–15]. Dostupné z: <http://www.infratopeni.info/infratopeni-princip>
- [6] DICKOVÁ, Michaela. *Návrh elektrického vytápění koupelny pomocí sálavých panelů*. Plzeň, 2012. Bakalářská práce. Západočeská univerzita v Plzni.
- [7] PAVELEK, Milan. *Termomechanika*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2011. ISBN 978-80-214-4300-6., s. 170
- [8] ČSN EN ISO 7726. *Tepelné prostředí. Přístroje a metody měření fyzikálních veličin*. 1993, Federální úřad pro normalizaci a měření
- [9] CENTNEROVÁ, Lada. *Tradiční & adaptivní model tepelné pohody*. Praha, 2001. Disertační práce. České vysoké učení technické v Praze, č. 2, s. 19 – 20
- [10] BLAŽÍČEK, Jan. *Varianty konvekčního elektrického vytápění* 2014. Odborný článek, TZB–info, In:[online]. [cit. 2017–03–03]. Dostupné z: <http://vytapieni.tzb-info.cz/vytapime-elektrinou/11256-varianty-konvekcniho-elektrickeho-vytapieni>
- [11] Janásek, P.: *Hygienicko – fyziologické aspekty sálavého vytápění*. Seminář krajských hygieniků Ústí n. L. (1995)
- [12] PAVELEK, Milan. *Termomechanika*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2011. ISBN 978-80-214-4300-6., s. 46
- [13] <http://www.elektricke-topeni.cz> In: [online]. [cit. 2017–02–28]. Dostupné z: <http://www.elektricke-topeni.cz/5,0,Navrh-topneho-vykonu,-potreba-a-spotreba-tepla,-PENB.html>
- [14] CIHELKA, Jaromír. *Vytápění, větrání a klimatizace*. 3., přepracované a doplněné vyd. Praha: SNTL, 1984., s. 131
- [15] JANOTKOVÁ, E.: *Technika prostředí – 2. část*. Elektronická skripta FSI VUT v Brně, Brno 2014. Dostupné z: <http://studynenergyweb.fme.vutbr.cz/technika-prostredi/technika-prostredi> (CS), s. 34
- [16] SVOBODOVÁ, Jana. *TECHNICKÁ ZAŘÍZENÍ BUDOV – PLYN, VYTÁPĚNÍ, VÝTAHY*. Digitální učební materiál SŠS Jihlava, In:[online]. [cit. 2017–03–01]. Dostupné z: http://www.ssstavji.cz/assets/File.ashx?id_org=400032&id_dokumenty=3542

-
- [17] BAŠTA, Jiří. *Otopná plocha a ovlivnění parametrů vnitřního prostředí*. Odborný článek, In: [online]. [cit. 2017–03–15]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/1186-tzb-2002-otopna-plocha-a-ovlivneni-parametru-vnitriho-prostredi>
- [18] PAVELEK, Milan. *Termomechanika*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2011. ISBN 978-80-214-4300-6., s. 151
- [19] MATUŠKA T., SCHWARZER J., ŠOUREK B.: *Teplovzdušné větrání a vytápění – teorie a schémata (I)*, In:[online]. [cit. 2017–03–02]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/t.py?t=2&i=3235>
- [20] JANOTKOVÁ, E.: *Technika prostředí – 2. část*. Elektronická skripta FSI VUT v Brně, Brno 2014. Dostupné z: <http://studynenergyweb.fme.vutbr.cz/technika-prostredi/technika-prostredi> (CS), s. 46
- [21] JANOTKOVÁ, E.: *Technika prostředí – 2. část*. Elektronická skripta FSI VUT v Brně, Brno 2014. Dostupné z: <http://studynenergyweb.fme.vutbr.cz/technika-prostredi/technika-prostredi> (CS), s. 47
- [22] JANKŮJ, J. *Teplovzdušné vytápění a větrání rodinných domů*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2008. 32 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Jan Košner, Ph.D., s.15
- [23] BAŠTA, Jiří. *Podlahové vytápění*. Odborný článek, In: [online]. [cit. 2017–03–20], Dostupné z <http://vytapani.tzb-info.cz/podlahove-vytapani>
- [24] CENTNEROVÁ, Lada. *Tradiční & adaptivní model tepelné pohody*. Praha, 2001. Disertační práce. České vysoké učení technické v Praze, č. 2, s. 37 – 38
- [25] ČSN EN ISO 7730. *Mírné tepelné prostředí – Stanovení ukazatelů PMV a PPD a popis podmínek tepelné pohody*, 1997, Český normalizační institut
- [26] MURTINGER, Karel. *Úsporný rodinný dům*. Praha: Grada, 2013. Profi & hobby. ISBN 978-80-247-4559-6., s. 64
- [27] RUBIN, Aleš; RUBINOVÁ Olga. *Vnitřní prostředí budov a tepelná pohoda člověka*. Odborný článek, 22. 08. 2005, In: [online]. [cit. 2017–03–22], Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/5969-rekonstrukce-ventracich-systemu-bytovych-domu>
- [28] ELEKTRODESIGN ventilátory spol. s r.o., *Rekonstrukce větracích systémů bytových domů*. Firemní článek, 14. 10. 2009, In: [online]. [cit. 2017–03–10], Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/5969-rekonstrukce-ventracich-systemu-bytovych-domu>
- [29] VENTILÁTORY s.r.o. *Těsný talířový ventil s elektrickým ovládáním VEL 14–4–0–9*, In: [online]. [cit. 2017–03–27], Dostupné z: <http://www.elektrodesign.cz/web/cs/product/vel-12-4-0-9-tesny-talirovy-ventil-s-elektrickym-ovladanim>
- [30] VENTILÁTORY s.r.o. *Talířový ventil odvodní KO 125*, In: [online]. [cit. 2017–03–27], Dostupné z: <http://www.elektrodesign.cz/web/cs/product/ko-125-talirovy-ventil-odvodni>
- [31] VENTILÁTORY s.r.o. *Multidýza MZL–KV 200x100*, In: [online]. [cit. 2017–03–27], Dostupné z: <http://www.elektrodesign.cz/web/cs/product/mzl-kv-200x100-multidyza>
- [32] UNIVENT s.r.o. *Kruhový anemostat KA 160*, In: [online]. [cit. 2017–03–27], Dostupné z: <http://www.univent.cz/web/cs/product/ka-160-kruhovy-anemostat>

-
- [33] UNIVENT s.r.o. *Spiro trouba 125*, In: [online]. [cit. 2017–03–27], Dostupné z: <http://www.univent.cz/web/cs/product/spiro-125-spiro-trouba>
- [34] VERMAT s.r.o. *Vzduchotechnické potrubí kruhové plastové 125*, In: [online]. [cit. 2017–03–27], Dostupné z: http://www.moje-elektro.cz/kruhove-potrubí/13854-vzduchotechnicke-potrubí-kruhove-plastove-125mm-05m.html?gclid=Cj0KEQjwn_3GBRDc8rCnup-1x8wBEiQAdw3OAZ2hyJE9xvY-eSLznDiz4ac5WF87v7IBifLU0oV7B5YaAs_m8P8HAQ
- [35] VENTILÁTORY s.r.o. *Hygienická Al hadice TERMOFLEX 25 HYGIENIC 127*, In: [online]. [cit. 2017–03–27], Dostupné z: <http://www.elektrodesign.cz/web/cs/product/termoflex-25-hygienic-127-hygienicka-al-hadice-10-m>
- [36] PŘÍHODA s.r.o., *Textilní potrubí a výustky*, In: [online]. [cit. 2017–03–27], Dostupné z: <http://www.prihoda.com/cs/distribuce-vzduchu>
- [37] VENTILÁTORY s.r.o. *Vsuvný telefonní tlumič SGD 125/300*, In: [online]. [cit. 2017–03–27], Dostupné z: <http://www.elektrodesign.cz/web/cs/product/sgd-125-300-telefonni-tlumič-vsuvny>
- [38] VENTILÁTORY s.r.o. *Regulátor průtoku s tlumícími účinky MTRP 125*, In: [online]. [cit. 2017–03–27], Dostupné z: <http://www.elektrodesign.cz/web/cs/product/mtrp-125-regulator-prutoku-s-tlumicimi-ucinky>
- [39] PALOUČEK MILOSLAV-ELEKTRA s.r.o. *Vzduchový filtr 125 mm KAP 125 pro čištění vzduchu*, In: [online]. [cit. 2017–03–27], Dostupné z: <http://www.ventilatory-prodej.cz/prislusenstvi-ventilatoru/vzduchove-fitry/vzduchovy-filtr-125-mm-kap-125-pro-cistení-vzduchu>
- [40] VENTILÁTORY s.r.o. *MFL 125 filtrační kazeta EU 3 (G4)*, In: [online]. [cit. 2017–03–27], Dostupné z: <http://www.elektrodesign.cz/web/cs/product/mfl-125-filtracni-kazeta-eu-3-g4>
- [41] HELUZ v.o.s., *Prostup tepla vícevrstvou konstrukcí a průběh teplot v konstrukci*. Online výpočet, In: [online]. [cit. 2017–03–26], Dostupné z: <http://stavba.tzb-info.cz/tabulky-a-vypočty/140-prostup-tepla-vícevrstvou-konstrukci-a-prubeh-teplot-v-konstrukci>
- [42] Ministerstvo Průmyslu A Obchodu. *§ 14 odst. 5 zákona č. 406/2000 Sb., O hospodaření energií, ve znění zákona č. 177/2006 Sb.*, 17. 07. 2007, In: [online]. [cit. 2017–03–22], Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/pravni-predpisy/vyhlasaka-c-194-2007-sb-kterou-se-stanovi-pravidla-pro-vytapeni-a-dodavku-teple-vody>
- [43] ČSN EN 12831. *Tepelné soustavy v budovách – Výpočet tepelného výkonu*, Český normalizační institut, 2005, In: [online]. [cit. 2017–03–26], Dostupné z: http://http://csnonlinefirmy.unmz.cz/html_nahledy/06/72496/72496_nahled.htm
- [44] VOPÁLKA, Karel. *VÝPOČET STAVU VZDUCHU PŘI SMĚŠOVÁNÍ*, Psychrometrický výpočet, In: [online]. [cit. 2017–03–27], Dostupné z: <http://www.qpro.cz/Psychrometricke-vypočty-Strana-5>
- [45] VENTILÁTORY s.r.o. *OLG 90° 125 oblouk lisovaný s těsněním*, In: [online]. [cit. 2017–03–27], Dostupné z: <http://www.elektrodesign.cz/web/cs/product/olg-90-125-oblouk-lisovany-s-tesnenim>
- [46] VENTILÁTORY s.r.o. *OJLG 90° 125/125 odbočka jednostranná s těsněním*, In: [online]. [cit. 2017–03–27], Dostupné z: <http://www.elektrodesign.cz/web/cs/product/ojlg-90-125-125-odbocka-jednostranna-s-tesnenim>

[47] VENTILÁTORY s.r.o. *SV 125 spojka vnitřní*, In: [online]. [cit. 2017–03–27], Dostupné z: http://www.elektrodesign.cz/web/cs/product/sv-125-spojka-vnitрни

[48] VACHOUŠEK, Ivo. *PPR Kulový kohout 20 x 1/2" s vnějším závitem a varným šroubením*, In: [online]. [cit. 2017–03–29], Dostupné z: <https://www.obchod-vtp.cz/ppr-kulovy-kohout-dn20x1-2-vnejsi-zavit?gclid=Cj0KEQjww0LHBRDD0beVheu3lt0BEiQAvU4CKo9zxkAvWhKtf7BshTzNkCGiNP0UTTi-5owDCM0bqCoaAIMY8P8HAQ>

[49] VACHOUŠEK, Ivo. *V&G 416D Termostatický ventil radiátorový přímý DN15 - 1/2" x 3/4" s eurokonusem*, In: [online]. [cit. 2017–03–29], Dostupné z: https://www.obchod-vtp.cz/termostaticky-ventil-radiatorovy-primy-dn15-1-2-x3-4-ek-vnejsi?gclid=Cj0KEQjww0LHBRDD0beVheu3lt0BEiQAvU4CKjWxeA46w_7iQt3caEh16G6tScPeAnE5XqWy9CqbxloaAt2m8P8HAQ

[50] HÝBLER, Petr; JANOUGH, Josef. *ELEKTROBOCK HD13-L termostatická hlavice digitální*, In: [online]. [cit. 2017–03–29], Dostupné z: https://www.koupelny-radiatory.cz/elektrobock-hd13-l-termostaticka-hlavice-digitalni?gclid=Cj0KEQjw5YfHBRDzjNnioYq3_swBEiQArj4pdNxlnEo9eY5-Tpl9XLtSsz25p8f7JVvYfxcdte15H3YaAnib8P8HAQ

[51] KARS, spol. s r.o. *Potrubní ventilátor Vents TT 125 S*, In: [online]. [cit. 2017–04–06], Dostupné z: <https://www.ventilatory-kars.cz/potrubni-ventilatory/rada-vents-tt/potrubni-ventilator-vents-tt-125-s/>

[52] ATREA s. r. o. *Co je to rekuperace?*, Firemní článek, In: [online]. [cit. 2017–04–15], Dostupné z: <http://www.atrea.cz/cz/co-je-to-rekuperace>

[53] VENTILÁTORY s.r.o. *Lokální rekuperační jednotka AIOLOS 180 - MENV 180 + dálkové ovládání*, In: [online]. [cit. 2017–03–15], Dostupné z: http://http://www.ventilatory.cz/lokalni-rekuperacni-jednotka-aiolos-180-_ventilator_-2265.html

[54] MULTI-VAC spol. s.r.o. *REC Smart*, In: [online]. [cit. 2017–03–15], Dostupné z: http://www.multivac.cz/produkty/rec-smart

[55] TERMO KOMFORT, s.r.o. *Lokální rekuperační jednotka Dimplex DL 50 WA s kruhovým tubusem DL 50 R*, In: [online]. [cit. 2017–03–15], Dostupné z: http://eshop.dimplex.cz/lokalni-rekuperacni-jednotka-dimplex-dl-50-wa-s-kruhovym-tubusem-dl-50-r

[56] SOLAR AIR s.r.o. *TX 64 - Lokální rekuperační jednotka pro větrání a odvlhčování*, In: [online]. [cit. 2017–03–15], Dostupné z: <http://http://www.turbovex.cz/cs/tx-64-39.html>

Seznam použitých symbolů a zkratk

Symbol	Jednotka	Veličina
T	$[^{\circ}\text{K}]$	teplota
Q_c	$[\text{W}]$	celková tepelná ztráta místnosti
Q_p	$[\text{W}]$	ztráty prostupem stěnami
\dot{q}	$[\text{W}\cdot\text{m}^{-2}]$	měrný tepelný tok
λ	$[\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}]$	součinitel tepelné vodivosti
U	$[\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}]$	součinitel prostupu tepla
δ	$[\text{m}]$	délkový rozměr
C	$[\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}]$	měrná tepelná kapacita
ρ	$[\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}]$	hustota
ppm	$[-]$	koncentrace
λ	$[\mu\text{m}]$	vlnová délka

Seznam příloh

Příloha I. Výpočet tepelných ztrát místnosti

Příloha II. Výpočet tepelného výměníku voda – vzduch